

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE : DES SCIENCES**

**DEPARTEMENT : PHYSIQUE**

N° : .....



**DOMAINE : SCIENCE DE LA MATIERE**

**FILIERE : PHYSIQUE**

**OPTION : ENERGIE SOLAIRE**

**Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique**

**Par : DJEGHAM Ali**

**Intitulé**

**Etude expérimentale d'un distillateur  
solaire à quatre vitres**

**Soutenu le 24/05/2017 devant le jury composé de :**

|                 |        |                      |            |
|-----------------|--------|----------------------|------------|
| NAHOUI Azzedine | MAA    | Université de M'sila | Président  |
| HADDAD Zakaria  | MAA    | Université de M'sila | Rapporteur |
| SALMI Mohamed   | MCA    | Université de M'sila | Examineur  |
| FRIDJA Djamel   | Invité | Université de M'sila | Examineur  |

**Année universitaire : 2016/2017**

# Dédicace

Je dédie ce modeste travail aux deux être qui n'ont cessé de se

Sacrifice pour que je réussisse.

A ma mère et mon père pour les sacrifices dont ils ont fait

preuve et mon égard.

A mes chères frères et ma sœur « Chaima ».

A tous les membres de ma famille qui m'ont aidé durant

Toutes Mes études.

A tous mes ami(e)s

A tout les étudiants

Tous ceux qui me sont chers

Merci à tous.

# Remerciements

En premier lieu, nous remercions notre DIEU, notre Créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à «Mr. Haddad Zakaria», l'enseignant à l'Université M'sila, pour le sujet qu'il m'a Proposé et lui exprimer ma profonde reconnaissance pour tout son aide, sa Disponibilité, ses conseils, et surtout l'intérêt qu'il a porté à mon travail et L'attention toute particulière accordé à la lecture et à la correction de ce Mémoire.

Nous tenons à notifier un remerciement spécial à tous nos enseignants du département de physique qui ont contribué à notre formation de master Qu'ils trouvent ici toute notre gratitude et reconnaissance pour leur aide, leur encadrement dont nous avons bénéficié durant toute notre scolarité.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Mr.NAHOUI Azzedine. l'enseignant à l'Université M'sila, pour avoir accepté de présider le jury.

Mes vifs remerciements s'adressent également à :

- Mr. Salmi Mohamed, Maître de conférences à l'université M'sila.
- Mr. FRIDJA Djamel.

En fin, Tous mes remerciements et mon estime à toute personne ayant contribué Deprès ou de loin à l'élaboration de ce modeste projet.

# SOMMAIRE

Nomenclature

Introduction Générale

## **Chapitre I : GENERALITE SUR LE RAYONNEMENT SOLAIRE**

|  |   |
|--|---|
| 1. Le soleil.....  | 1 |
| 2. Aspects géométriques du rayonnement solaire.....          | 1 |
| 2.1. Mouvements de la terre.....                             | 1 |
| 2.2. Les coordonnées célestes.....                           | 2 |
| 2.2.1. Les coordonnées géographiques.....                    | 2 |
| 2.2.2. Les coordonnées horaires.....                         | 2 |
| 2.2.3. Les coordonnées horizontales.....                     | 3 |
| 2.3. Les temps solaires.....                                 | 4 |
| 2.3.1. Les paramètre de temps.....                           | 4 |
| 2.3.2. Durée et taux d'enseillement.....                     | 4 |
| 3. Le rayonnement solaire.....                               | 5 |
| 3.1. Définition.....   | 5 |
| 3.2. Constante solaire .....                                 | 5 |
| 3.3. Composantes du rayonnement solaire.....                 | 5 |
| 3.3.1. Le rayonnement direct.....                            | 5 |
| 3.3.2. Le rayonnement diffus.....                            | 6 |
| 3.3.3. Le rayonnement global.....                            | 7 |
| 3.4. Direction des rayons solaire par rapport à un plan..... | 7 |
| 4. Le gisement solaire en Algérie.....                       | 8 |

## **Chapitre II : LES PROCEDES DE DESSALEMENT DES EAUX**

|  |    |
|--|----|
| 1. Origine et historique de la distillation solaire..... | 11 |
| 2. dessalement de l'eau de meren Algérie.....            | 11 |
| 3. les grandes stations.....                             | 12 |
| 4. les stations monoblocs.....                           | 12 |
| 5. Critères de qualité de l'eau.....                     | 13 |
| 6. les procèdes de dessalement.....                      | 14 |
| 6.1. L'électrodialyse.....                               | 14 |

## Sommaire

---

|   |    |
|---|----|
| 6.2. L'osmose inverse.....  | 14 |
| 6.3. Distillation à détente étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF)..... | 15 |
| 6.4. distillation à multiples effets (Multi-Effet distillation MED).....      | 16 |
| 6.5. Congélation.....   | 16 |
| 7. La distillation solaire.....   | 16 |
| 7.1 Principe de fonctionnement.....   | 16 |
| 7.2. Les différents types de distillateurs.....                               | 17 |
| 7.2.1. Distillateur a pente unique.....                                       | 17 |
| 7.2.2. Distillateur solaire à double pente.....                               | 17 |
| 7.2.3. Distillateur solaire terre- eau.....                                   | 18 |
| 7.2.4. Distillateur solaire sphérique à balayage.....                         | 18 |
| 7.2.5. Le distillateur solaire incliné à mèche.....                           | 18 |
| 7.2.6. Distillateur solaire à film capillaire.....                            | 19 |
| 7.2.7. Distillateur à cascade.....  | 20 |
| 7.2.8. Distillateur solaire à cheminée (BERTOLI et al 1976).....              | 20 |
| 7.2.9. Distillateur à mèche évaporant (BARTOLI et al 1976).....               | 20 |
| 8. composants d'un distillateur solaire.....                                  | 21 |
| 8. Paramètres de Fonctionnement du Distillateur solaire à effet de serre..... | 22 |
| 8.1. Paramètres externes.....   | 22 |
| 8.1.1. Les paramètres géographiques.....                                      | 22 |
| 8.1.2. Les paramètres météorologiques.....                                    | 22 |
| II.8.2. les paramètres internes.....  | 22 |
| 8.2.1. Paramètres de position.....  | 22 |
| 8.2.2. La couverture.....   | 22 |
| 8.2.3. L'absorbeur.....   | 23 |
| 8.2.4. Paramètres thermo-physiques.....                                       | 23 |
| 8.2.5. Paramètres optiques.....   | 23 |
| 9. Les caractéristiques de fonctionnement.....                                | 23 |
| 9.1. production.....  | 23 |
| 9.2. L'efficacité.....  | 24 |
| 9.2.1. L'efficacité globale.....  | 24 |
| 9.2.2. L'efficacité interne.....  | 24 |
| 9.2.3. La performance.....  | 25 |

## Sommaire

---

|   |    |
|---|----|
| 10. Bilan thermique.....                      | 25 |
| 10.1. Bilan thermique de la vitre.....        | 25 |
| 10.2. Bilan thermique de la masse d'eau ..... | 27 |
| 10.3. Bilan thermique du bac absorbant .....  | 28 |
| 10.4. Bilan thermique de l'isolant .....      | 28 |

### **Chapitre III :L'ETUDE EXPERIMENTALES DISCUSSIONS DES RESULTATS**

|  |    |
|--|----|
| 1. Introduction.....   | 30 |
| 2. Présentation générale du lieu d'expérimentation (M'sila).....           | 30 |
| 2.1. Situation géographique.....   | 30 |
| 2.2. Climat.....   | 30 |
| 3. Description du distillateur solaire.....                                | 30 |
| 4. Principe de fonctionnement.....   | 33 |
| 5. Tests expérimentaux.....  | 33 |
| 6. Discussions des résultats.....  | 34 |
| 6.1. Les paramètres météorologiques.....                                   | 34 |
| 6.2. Les températures des différentes parties de distillateur solaire..... | 36 |
| 6.3. La production.....  | 37 |
| 6. L'étude économique de système .....                                     | 38 |

Conclusion

Référence

Résume

| <b>Liste des tableaux</b>  | <b>page</b> |
|--|-------------|
| Tableau I.1-Les caractéristiques principales du soleil                     | <b>1</b>    |
| Tableau I.2- Valeurs des coefficients de trouble atmosphérique             | <b>6</b>    |
| Tableau I.3- Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude        | <b>6</b>    |
| Tableau I.4- Albédo de différents sols.                                    | <b>7</b>    |
| Tableau I.5- Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques        | <b>9</b>    |
| Tableau II.1-Le plus important de grandes usines de dessalement en Algérie | <b>12</b>   |
| Tableau II.2 les stations monoblocs.                                       | <b>13</b>   |
| Tableau II.3 - Critères de qualité de l'eau et sa caractérisation.         | <b>13</b>   |
| Tableau III.1- Les dimensions du distillateur solaire                      | <b>33</b>   |
| Tableau III.2- Prix de différentes parties du distillateur.                | <b>39</b>   |
| Tableau III.3 : Analyse économique de distillateur solaire.                | <b>40</b>   |

| <b>Liste des figures</b>  | <b>page</b> |
|---|-------------|
| Fig. I.1- Schématisation du mouvement de la terre autour du soleil  | <b>1</b>    |
| Fig. I.2- les coordonnées géographiques.  | <b>2</b>    |
| Fig. I.3- La déclinaison du soleil durant l'année.  | <b>2</b>    |
| Fig. I.4- Les coordonnées horaires  | <b>3</b>    |
| Fig. I.5- Repérage du soleil  | <b>3</b>    |
| Fig. I.6- Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu | <b>6</b>    |
| Fig. II.1- principe de L'électrodialyse   | <b>14</b>   |
| Fig. II.2- principe L'osmose inverse  | <b>15</b>   |
| Fig. II.3- Principe de fonctionnement d'un système par détente successives (MSF) à 3étages.                 | <b>15</b>   |
| Fig. II.4- Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED).                           | <b>16</b>   |
| Fig. II.5- Principe de construction et de fonctionnement d'un distillateur solaire simple                   | <b>17</b>   |
| Fig. II.6-Distillateur a pente unique   | <b>17</b>   |
| Fig. II.7-Distillateur a doublé pente unique  | <b>17</b>   |
| Fig. II.8-Distillateur solaire terre- eau   | <b>18</b>   |
| Fig. II.9-Distillateur sphérique à balayage   | <b>18</b>   |
| Fig. II.10-Distillateur solaire incliné à mèche   | <b>19</b>   |

|   |           |
|---|-----------|
| Fig. II.11-Distillateur solaire à film capillaire   | <b>19</b> |
| Fig. II.12- Distillateur à cascade  | <b>20</b> |
| Fig .II.13-Distillateur à cheminée  | <b>20</b> |
| Fig .II.14-Distillateur à mèche évaporant   | <b>21</b> |
| Fig. II.15- Coupe longitudinale du distillateur   | <b>21</b> |
| Fig. II.16- Bilans énergétiques d'un distillateur solaire simple                                    | <b>25</b> |
| Fig. III.1- distillateur solaire a quatre vitres  | <b>31</b> |
| Fig. III.2- distillateur solaire simple   | <b>32</b> |
| Fig. III.3- Variation temporelle de l'irradiation solaire   | <b>34</b> |
| Fig.III.4- Variation temporelle de la vitesse du vent.  | <b>35</b> |
| Fig.III.5- Variation temporelle de la température ambiante.   | <b>35</b> |
| Fig.III.6- Variations temporelles des températures des différentes parties de distillateur solaire. | <b>36</b> |
| Fig. III.7 -Variation temporelle de la production Journalière et horaire                            | <b>37</b> |

## Nomenclature

| Symbole      | Désignation  | Unité            |
|--------------|--|------------------|
| L            | Longitude de lieu  | degré            |
| Z            | L'altitude   | mètre            |
| $N_j$        | le numéro du jour de l'année   | jours            |
| a            | L'azimut   | degré            |
| h            | La hauteur solaire   | degré            |
| TSV          | Le temps solaire vrai  | heures           |
| TSM          | Le temps solaire moyen   | heures           |
| ET           | est l'équation du temps qui corrige le TSV par rapport au TSM                            | heures           |
| TU           | Le temps universel   | heures           |
| TL           | Le temps légal   | heures           |
| SS           | durée effective d'ensoleillement   | Heures           |
| $SS_0$       | la durée maximale d'ensoleillement   | Heures           |
| $\sigma$     | Taux d'ensoleillement  |                  |
| $I_g$        | le rayonnement global  | W/m <sup>2</sup> |
| $I_d$        | Le rayonnement diffus  | W/m <sup>2</sup> |
| $I_D$        | Le rayonnement direct  | W/m <sup>2</sup> |
| $\tau_{dir}$ | La transmissivité totale de la couche atmosphérique                                      |                  |
| $L_v$        | Chaleur latente  | Joule/kg         |
| $m_d$        | Quantité du distillat  | Kg               |
| A            | Surface du bac   | m <sup>2</sup>   |
| V            | La vitesse du vent   | m/s              |
| G            | Le rayonnement solaire   | W/m <sup>2</sup> |
| $Q_{eau}$    | Flux thermique effectivement reçu par la masse d'eau                                     |                  |
| $C_p$        | Chaleur massique à pression constante du vitre   | J/kg. k          |
| $Q_{R,w-g}$  | Flux de chaleur échangée par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.                | W/m <sup>2</sup> |
| $Q_{C,w-g}$  | Flux de chaleur échangée par convection entre le film d'eau et le vitrage.               | W/m <sup>2</sup> |
| $Q_{Evap}$   | Flux de chaleur échangée par évaporation condensation entre le film d'eau et le vitrage. | W/m <sup>2</sup> |

## Nomenclature

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| $Q_{R,g-a}$ | Flux de chaleur échangée par rayonnement par la vitre vers l'extérieur.                            | $W/m^2$   |
| $Q_{C,g-a}$ | Flux de chaleur échangée par convection entre la vitre et l'extérieur.                             | $W/m^2$   |
| $Q_{C,b-w}$ | Flux de chaleur échangée par convection entre le fond du bac et le film d'eau.                     | $W/m^2$   |
| $h_{R,w-g}$ | Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.               | $W/m^2.k$ |
| $h_{C,w-g}$ | Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le film d'eau et le vitrage.              | $W/m^2.k$ |
| $h_{Evap}$  | Coefficient de transfert de chaleur par évaporation condensation entre le film d'eau et le vitrage | $W/m^2.k$ |
| $h_{R,g-a}$ | Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement par la vitre vers l'extérieur.                 | $W/m^2.k$ |
| $h_{C,g-a}$ | Coefficient de transfert de chaleur par convection entre la vitre et l'extérieur.                  | $W/m^2.k$ |
| $h_{C,b-w}$ | Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le fond du bac et le film d'eau.          | $W/m^2.k$ |
| $U_B$       | Les pertes thermique du bassin par conduction thermique à travers l'isolation                      | $W/m^2.k$ |

| Indices | Désignation       |
|---------|-------------------|
| a       | Air ambiant       |
| b       | Bac absorbant     |
| c       | Ciel              |
| gi      | Vitrage intérieur |
| go      | Vitrage extérieur |
| w       | Eau (water)       |
| is      | Isolant           |

## Nomenclature

---

| <b>Lettres grecques :</b> | <b>Désignation</b>            | <b>Unité</b>   |
|---------------------------|-------------------------------|----------------|
| $\beta$                   | L'inclinaison                 | Degré          |
| $\varnothing$             | Latitude de lieu              | Degré          |
| $\omega$                  | L'angle horaire               | degré          |
| $\delta$                  | La déclinaison                | Degré          |
| $\eta_g$                  | L'efficacité globale          | %              |
| $\eta_i$                  | L'efficacité interne          | %              |
| $\alpha$                  | Coefficient d'Absorption      |                |
| $\tau$                    | Coefficient de Transmission   |                |
| $\sigma$                  | Constante de STEFFAN-BOLTZMAN | $W/m^2.K^{-4}$ |
| $\varepsilon$             | Emissivité                    |                |
| $\rho$                    | Albédo                        |                |
| $\lambda$                 | Conductivité thermique        | W / m.k        |
| $\mu$                     | viscosité dynamique           | Kg/m.s         |
| $\rho_w$                  | La masse volumique de l'eau   | $Kg/m^3$       |

# INTRODUCTION

L'eau est un élément essentiel pour la continuité et le développement de l'humanité. Les besoins en eau potable dans le monde augmentent d'une manière continue, alors que les réserves souterraines se trouvent constamment diminuées. Les réserves d'eau saumâtres ont des teneurs en sel qui varient de 1500 à 2000 (ppm), dépassant les normes exigées pour un eau potable. Le dessalement de ces eaux ou des eaux de mer par des unités classiques de traitement nécessite beaucoup d'énergie électrique et/ou calorifique. Il s'avère que dans les régions où l'eau potable est rare et l'énergie potentielle nécessaire nouvelle (solaire) au dessalement des eaux saumâtres et/ou salée est disponible (de plus ce sont les zones les plus ensoleillées du globe). Aussi les gens de ces régions déshéritées pourront se libérer des contraintes de ravitaillement en fourniture énergétique avec l'utilisation de l'énergie solaire pour le dessalement. L'Algérie est l'un des pays qui s'intéresse à la recherche de nouvelles ressources et de nouveaux procédés de fournir de l'eau fraîche. Ce besoin en eau est dû principalement à la croissance rapide de la population, au développement des différents secteurs tel que l'agriculture et l'industrie, mais aussi à la sécheresse qui a pris de l'ampleur et qui est devenue un facteur menaçant même le mode de vie, pour combler à ce déficit, on a misé sur le dessalement solaire (distillation solaire), comme l'une des futures sources d'eau, qui contribuent et portent des solutions d'avenir proposées pour la production d'eau douce, étant donné que le pays est caractérisé par une forte intensité de rayonnement solaire durant la plupart des périodes de l'année.

L'objectif principal de ce travail est basé sur l'étude expérimentale d'un distillateur solaire à quatre vitres afin d'obtenir de l'eau distillée qui pourra pallier les besoins en eau potable dans la vie quotidienne.

Pour atteindre cet objectif, nous avons divisé notre travail en trois chapitres.

- Le premier chapitre sur le rayonnement solaire.
- Le deuxième chapitre est basé sur l'étude théorique du distillateur solaire.
- Le troisième chapitre montre toutes les interprétations et discussions des résultats avec l'étude expérimentale.

# CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE RAYONNEMENT SOLAIRE

## 1. LE SOLEIL

Le Soleil est l'étoile la plus proche de la Terre. C'est une sphère gazeuse essentiellement constituée d'hydrogène et d'hélium. La masse du soleil représente 99.85 % de la masse totale du système solaire et 330 000 fois la masse de la terre. L'âge du soleil est approximativement de 5 milliards d'années. La température apparente de la surface du soleil à voisine 7500 °C [1]. Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans le tableau I.1 suivant [2] :

|  |                |
|--|----------------|
| Diamètre (km)                                | 1392000        |
| Masse (kg)                                   | $2.10^{30}$    |
| Surface (km <sup>2</sup> )                   | $6,09.10^{12}$ |
| Volume (km <sup>3</sup> )                    | $1,41.10^{18}$ |
| Masse volumique moyenne (kg/m <sup>3</sup> ) | 1408           |
| Vitesse (km/s)                               | 217            |
| Distance du centre de la voie lactée (km)    | $2,5.10^{17}$  |

Tableau I.1- Les caractéristiques principales du soleil.

## 2. ASPECTS GEOMETRIQUES DU RAYONNEMENT SOLAIRE

### 2.1. Mouvements de la terre :

La trajectoire de la terre autour du soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique. L'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre/ Soleil ne varie que de  $\pm 1,7\%$  par rapport à la distance moyenne qui est de  $149.6 \times 10^6$  km. La terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles et passant par le centre de la terre appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique en fait l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé déclinaison de l'ordre de  $23^\circ 45'$  [3].

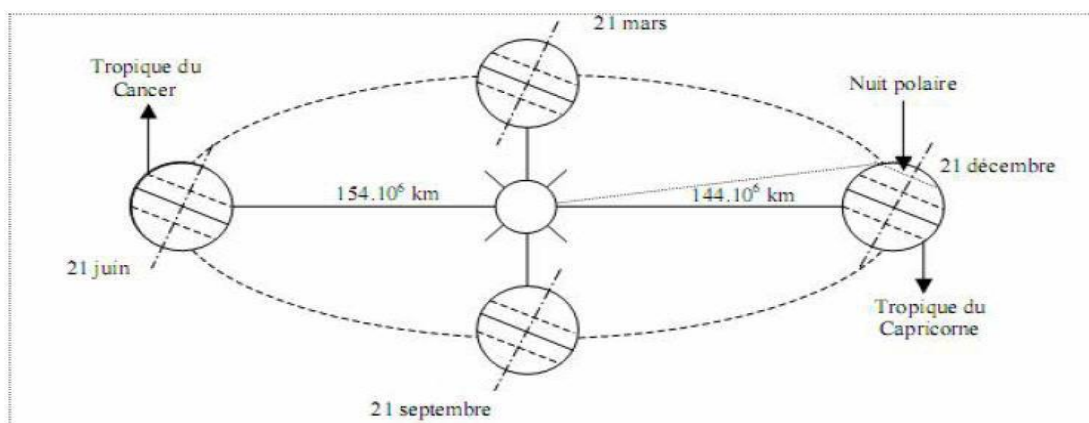


Fig. I.1- Schématisation du mouvement de la terre autour du soleil

## 2.2. Les coordonnées célestes

### 2.2.1. Les coordonnées géographiques

**a. La latitude  $\varnothing$  :** C'est l'angle formé par la verticale d'un lieu donné avec le plan équatorial terrestre. Elle est comptée à partir de l'équateur de 0 à  $\pm 90$ , positivement vers le nord et négativement vers le sud.

**b. La longitude  $L$  :** C'est l'angle formé par le méridien local du site avec le Méridien d'origine (méridien de Greenwich).

**c. L'altitude ( $Z$ ) :** Correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de référence, figurant le niveau moyen de la mer [4].

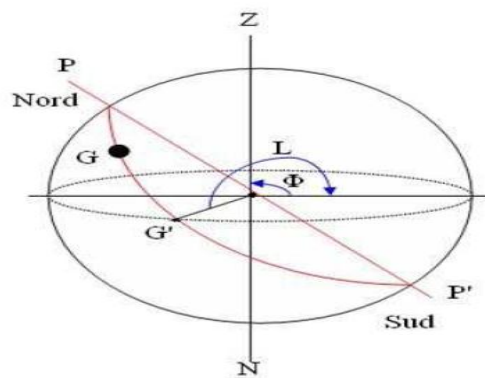


Fig. I.2- les coordonnées géographiques

### 2.2.2. Les coordonnées horaires

**La déclinaison du soleil ( $\delta$ ) :** Correspond à l'angle formé par le plan équatorial et la direction terre soleil.

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left( (284 + N_j) \frac{360}{365} \right) \quad (I.1)$$

Avec,  $N_j$  : le numéro du jour de l'année (1<sup>er</sup> janvier=1).

Elle varie de  $-23,45^\circ$  au solstice d'hiver à  $+23,45^\circ$  au solstice d'été, et elle est nulle aux Equinoxes.

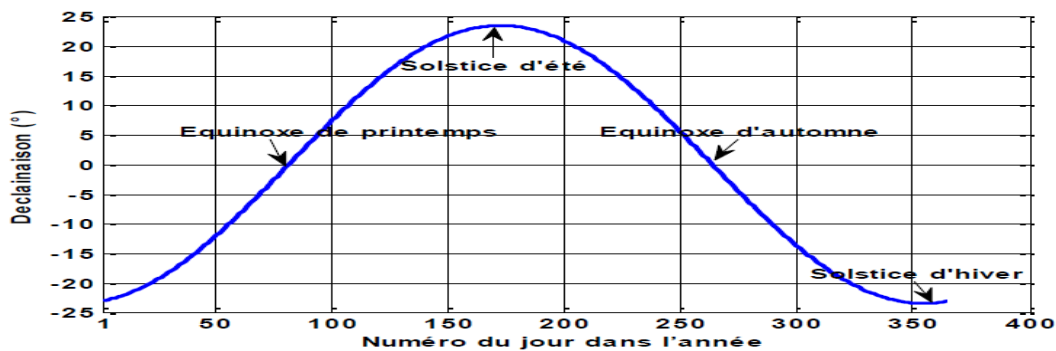


Fig. I.3- La déclinaison du soleil durant l'année.

**L'angle horaire ( $\omega$ ) :** Correspond à l'angle compris entre la projection du soleil sur le plan équatorial et la méridienne origine du lieu considéré passant par le sud. Il est donné par la relation suivante [5] :

$$\omega = 15. (TSV - 12) \quad (I.2)$$

Ou :  $TSV$  : est le temps solaire vrai.

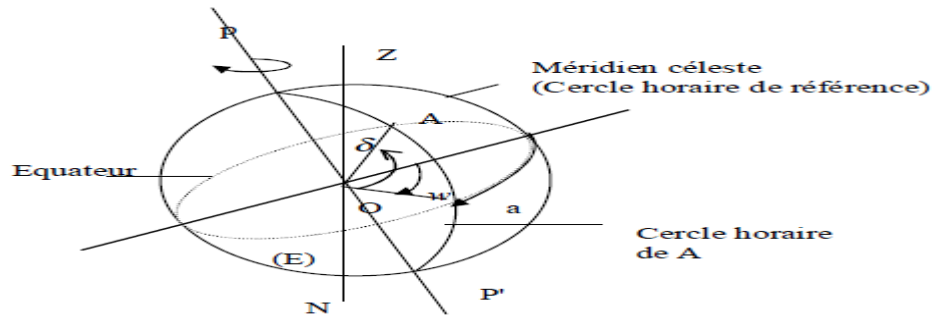


Fig. I.4- Les coordonnées horaires

### 2.2.3. Les coordonnées horizontales

- **L'azimut solaire :** L'azimut ( $a$ ) est l'angle entre la direction sud et la projection sur le plan horizontal local de la droite reliant la terre au soleil.
- **La hauteur solaire :** La hauteur solaire ( $h$ ) est l'angle entre la droite joignant le centre du disque solaire au point d'observation et le plan horizontal passant par le point d'observation (Fig. I.5). Le complément de ( $h$ ) ou l'angle que fait la direction du soleil avec la verticale est appelé l'angle zénithal. Le zénith est le point le plus élevé de l'hémisphère céleste, se trouvant directement à la verticale de l'observateur [6].

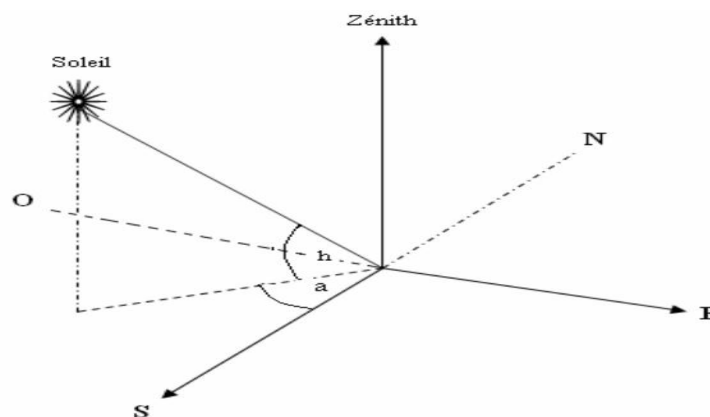


Fig. I.5- Repérage du soleil

## 2.3. Les temps solaires

### 2.3.1. Les paramètres de temps

- Le temps solaire vrai (TSV) est l'angle horaire du soleil  $\omega$ .

$$\text{TSV} = 12 + \frac{\omega}{15} \quad (\text{I.3})$$

- Le temps solaire moyen (TSM) est donné par:

$$\text{TSV} - \text{TSM} = \text{ET} \quad (\text{I.4})$$

ET : est l'équation du temps qui corrige le TSV par rapport au TSM.

$$\text{ET} = 9.87 \sin(2 \times N') - 7.53 \times \cos(N') - 1.5 \times \sin(N') \quad (\text{I.5})$$

$$N' = (N_j - 81) \times \frac{360}{365} \quad (\text{I.6})$$

- Le temps universel (TU) est le temps moyen de Greenwich

$$\text{TU} = \text{TSM} - \frac{L}{15} \quad (\text{I.7})$$

$L$  : est la longitude

- Le temps légal (TL) est le temps officiel d'un état, il est donné par:

$$\text{TL} = \text{TU} + \Delta H \quad (\text{I.8})$$

$\Delta H$  : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré [2].

### 2.3.2. Durée et taux d'ensoleillement

- **Durée d'ensoleillement**

Selon les conditions atmosphériques, le ciel peut être plus ou moins couvert de nuages au cours d'une journée. Ceux-ci occultent le Soleil, totalement ou partiellement, empêchant ainsi le rayonnement d'atteindre directement le sol. On dit que la nébulosité est plus ou moins importante selon qu'il y a beaucoup ou peu de nuages.

On appelle durée effective d'ensoleillement ou insolation  $SS$  le temps pendant lequel, au cours d'une journée, le rayonnement solaire direct a atteint le sol du lieu considéré.

- **Taux d'ensoleillement**

Par ciel clair sans nuages, le sol reçoit le rayonnement solaire direct pendant toute la durée du jour, ou plus précisément pendant la durée maximale d'ensoleillement  $SS_0$ . On appelle taux d'ensoleillement ou taux d'insolation le rapport entre la durée effective et la durée maximale d'ensoleillement [7].

$$\sigma = \frac{SS}{SS_0} \quad (\text{I.9})$$

### 3. LE RAYONNEMENT SOLAIRE

#### 3.1. Définition

C'est la quantité d'ondes lumineuses qui arrivent sur une surface d'environ 1 m<sup>2</sup>. Il existe différents types de rayons lumineux dont je vais vous donner leurs noms et leurs fonctions. Nous parlons d'absorption lorsqu'un corps transforme les rayons du soleil en chaleur interne.

#### 3.2. Constante solaire :

La constante solaire représente le flux du rayonnement solaire reçu par une surface unitaire disposée perpendiculairement aux rayons solaires. Supposons que toute l'énergie émise par le soleil est reçue par la terre (absence de l'atmosphère) on aura alors :

$$S_0 = \sigma T_S^4 \left[ \frac{R_S}{D_{ST}} \right]^2 \quad (\text{I.10})$$

$R_S$ : Rayon du soleil.

$D_{ST}$ : Distance terre-soleil.

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{K}^4.$$

Ce flux mesuré hors atmosphère terrestre a pour valeur moyenne  $(S_0)_{\text{ext}} = 1353 \text{Wm}^{-2}$ . Cette Valeur est une valeur moyenne puisque la distance terre soleil ( $149.6 \times 10^6 \text{km} \pm 1.7\%$ ) varie au Cour de l'année. Il faut donc appliquer à la constante solaire une correction en fonction du Quantième n du jour de l'année (compté à partir du 1<sup>o</sup>janvier). La constante solaire hors atmosphère pour un jour quelconque s'écrit selon :

$$(S_0)_{\text{ext}} = 1353(1 + 0,033 \cos 0.984n) \text{ où } n \text{ représente le quantième annuel (de 1 à 365) [8].}$$

#### 3.3. Composantes du rayonnement solaire

L'atmosphère ne transmet pas au sol la totalité du rayonnement solaire qu'elle reçoit. Les composantes du rayonnement solaire incident instantané sont :

##### 3.3.1. Le rayonnement direct

Provenant du disque solaire et qui subit l'atténuation due à la traversée de l'atmosphère. L'expression du rayonnement direct pour un plan orienté vers le sud est donnée par l'expression [9,10] :

$$I_D = I_C \times a \times \exp\left(\frac{-b}{\sin(h)} \times \frac{p}{1000}\right) \times \cos(i) \quad (\text{I.11})$$

Avec :

$$I_C = I_0 \times (1 + 0.034 \times \cos((m - 1) + n)) \quad (\text{I.12})$$

a et b : Coefficients traduisant les troubles atmosphériques.

Le tableau I.2 rassemble quelques valeurs de a et b.

|   | Ciel pur | Condition Normale | Zones industrielles |
|---|----------|-------------------|---------------------|
| a | 0.87     | 0.88              | 0.91                |
| b | 0.17     | 0.26              | 0.43                |

Tableau I.2- Valeurs des coefficients de trouble atmosphérique

La pression atmosphérique "p" en fonction de l'altitude est illustrée par le tableau I.3 :

| Altitude(m) | 0    | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 5000 |
|-------------|------|-----|------|------|------|------|
| p (mbar)    | 1000 | 950 | 900  | 850  | 800  | 500  |

Tableau I.3- Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude

### 3.3.2. Le rayonnement diffus

Provient de tous les éléments irradiés par le soleil. Le flux diffus reçu par la surface du capteur se caractérise par deux composantes du flux à savoir :

- Le flux diffus émis par la voûte céleste ( $\varphi_1$ ), donné par la relation [9,10] :

$$\varphi_1 = \varphi_0 \times \frac{1 + \cos B}{2} \quad (\text{I.13})$$

- Le flux émis par le sol ( $\varphi_2$ )

$$\varphi_2 = \rho \times \frac{1 - \cos(B)}{2} \times (I_C \times \tau_{\text{dir}} \times \sin(h) + \varphi_0) \quad (\text{I.14})$$

Avec

$$\varphi_0 = I_C \times \sin(h) (0.271 - 0.2939 \times \tau_{\text{dir}}) \quad (\text{I.15})$$

$\tau_{\text{dir}}$ : La transmissivité totale de la couche atmosphérique dont l'expression est :

$$\tau_{\text{dir}} = a \times \exp\left(\frac{-b}{\sin(h)} \times \frac{p}{1000}\right) \quad (\text{I.16})$$

$\rho$  L'albédo du sol donné par le tableau I.4 :

| Nature du sol       | Nature du sol |
|---------------------|---------------|
| Herbe fraîche       | 0,20          |
| Herbe sèche         | 0,30          |
| Terre cultivée, nue | 0,16          |
| Gravier             | 0,22          |
| Neige fraîche       | 0,85          |
| Etendu d'eau        | 0,05          |

Tableau I.4- Albédo de différents sols.

Le flux diffus total s'écrit par conséquent de la manière suivante

$$I_d = \varphi_1 + \varphi_2 \quad (\text{I.17})$$

### 3.3.3. Le rayonnement global :

Le rayonnement global sur une surface quelconque au voisinage du sol est la somme de ces deux composantes :

$$I_g = I_D + I_d \quad (\text{I.18})$$

### 3.4. Direction des rayons solaire par rapport à un plan

$$\sinh = \cos(\delta) \times \cos(\omega) \times \cos(\varnothing) + \sin(\delta) \times \sin(\varnothing) \quad (\text{I.19})$$

$h$  : Etant la hauteur du soleil

$\omega, \delta, \varnothing$  : Sont respectivement l'angle horaire, la déclinaison, et la latitude ( $^\circ$ ).

Soit un plan quelconque sur la terre à un instant quelconque, repérons sa position par les deux angles  $\alpha$  et  $\beta$  tels que :

$\beta > 0$  si le plan en face de l'équateur

$\beta = 0$  pour le plan horizontal

$\beta = 90^\circ$  pour un plan vertical

$\alpha$  : Angle entre le méridien local et la normale au plan

$\alpha = 0$  vers le sud

$\alpha < 0$  vers l'est

$\alpha > 0$  vers l'ouest

$\alpha =$  vers le nord

Soit "i" l'angle entre le rayon incident et la normale au plan considéré.

Pour une surface orientée vers le sud et inclinée d'un angle  $\beta$  sur l'horizontale, La valeur de "i" est donné par la relation suivante Angle entre le plan horizontal et le plan considéré (inclinaison) :

$$\begin{aligned} \cos(i) = & \cos(\delta) \sin(\omega) \sin(\alpha) \cos(\beta) + (\sin(\delta) \cos(\omega) \cos(\delta) \\ & - \cos(\delta) \sin(\delta)) \cos(\alpha) \cos(\beta) + (\cos(\delta) \cos(\omega) \cos(\delta) + \sin(\delta) \sin(\delta)) \sin(\beta) \end{aligned} \quad (I.20)$$

### Cas particulier :

- ◆ Le plan est horizontal ( $\beta = \frac{\pi}{2}$ )

$$\cos(i) = \cos(\omega) \times \cos(\delta) \times \cos(\delta) + \sin(\delta) \times \sin(\delta) \quad (I.21)$$

- ◆ Le plan est vertical ( $\beta = 0$ )

-Orienté vers le sud ( $\alpha = 0$ )

$$\cos(i) = \cos(\omega) \times \cos(\delta) \times \sin(\delta) - \cos(\delta) \times \sin(\delta) \quad (I.22)$$

-Orienté vers le nord ( $\alpha = \pi$ )

$$\cos(i) = \sin(\delta) \times \cos(\delta) - \sin(\delta) \times \cos(\delta) \times \sin(\delta) \quad (I.23)$$

-Orienté vers l'est ( $\alpha = -\frac{\pi}{2}$ )

$$\cos(i) = -\sin(\omega) \times \cos(\delta) \quad (I.24)$$

- Orienté vers l'ouest ( $\alpha = \frac{\pi}{2}$ )

$$\cos(i) = \sin(\omega) \times \cos(\delta) \quad (I.25)$$

[9]

## 4. LE GISEMENT SOLAIRE EN ALGERIE

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à HassiR'Mel[11].

La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau I.5 :

| Régions                                       | Régions côtières | Hauts plateaux | Sahara |
|---|------------------|----------------|--------|
| Superficie (%)                                | 4                | 10             | 86     |
| Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)         | 2650             | 3000           | 3500   |
| Energie moyenne reçue (kWh/m <sup>2</sup> an) | 1700             | 1900           | 2650   |

Tableau I.5- Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques

La durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de 3500h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8h/j et peut arriver jusqu'à 12h/j pendant l'été à l'exception de l'extrême sud où elle baisse jusqu'à 6h/j en période estivale. La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie [11].

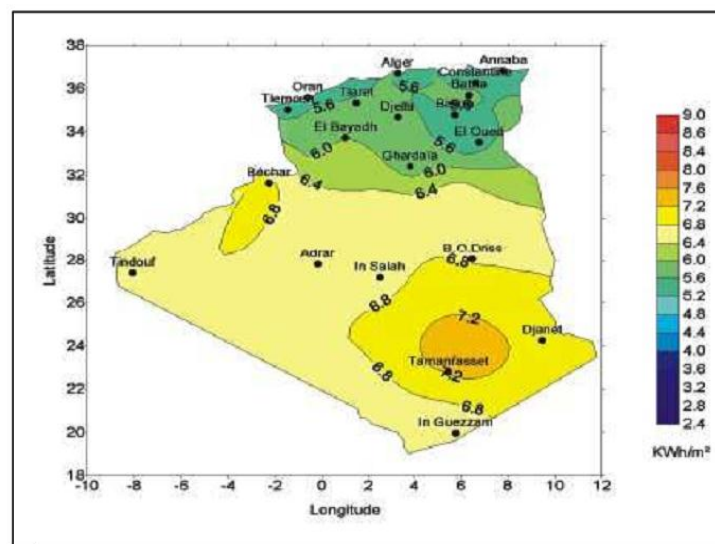


Fig. I.6-Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu

# CHAPITRE II : LES PROCÉDES DE DESSALEMENT DES EAUX

## **1. ORIGINE ET HISTORIQUE DE LA DISTILLATION SOLAIRE**

La distillation solaire a été utilisée depuis plusieurs siècles où : En 1551, les premiers appareils pour distiller l'eau salée ont été conçus par les alchimistes arabes ; c'est une certitude rapportée par Mouchot. En 1862, le chimiste français Lavoisier a utilisé de larges lentilles en verre pour concentrer les rayons solaires afin de distiller l'eau contenue dans des flacons .En 1872, fabrication du premier distillateur solaire conventionnel de 5.000 m<sup>2</sup> de surface à Las-Salinas dans le nord du Chili par l'ingénieur suédois Carlos Wilson. En 1920, Kaush a utilisé des réflecteurs métalliques pour concentrer les rayons solaires. Au début des années 30, Trivinof avait proposé un distillateur incliné, et en 1938 Abbot a utilisé des réflecteurs cylindriques paraboliques pour concentrer les rayons solaires acheminés dans des tubes contenant de l'eau .En 1945, invention d'un nouveau distillateur solaire type sphérique, où un grand nombre de ce modèle a été utilisé pendant la 2<sup>ème</sup> guerre mondiale. En 1952 l'université de Californie a commencé des investigations dont le but est d'étudier les effets de certains paramètres affectant le rendement tels que la géométrie et les différents matériaux d'isolation. En 1953 Cyril Goméla a développé en Algérie une dizaine de types de distillateurs solaires qui ont été ensuite testés et commercialisés à travers l'Afrique du nord, le Sénégal et l'Australie. Afin d'augmenter le rendement, Savornin et Le Jeune ont aussi étudiés d'autres types de distillateurs solaires inclinés .En 1960 trois grandes stations de distillateurs solaires ont été construites en Tunisie. Entre 1963 et 1967 le CSIRO d'Australie (Common Wealth Scientific and Industrial Research Organisation) a construit et testé plus de 8 distillateurs dans le but d'améliorer l'efficacité par l'étude de l'effet de certains paramètres. En 1969 Cooper a proposé une simulation pour étudier les performances d'un distillateur solaire à effet de serre [12].distillateur à effet multiple (Oltra, 1972; Bartali, 1976), Le plateau incliné ou le distillateur solaire incliné (Howa, 1961Akhtamov et al, 1978), Le distillateur solaire type mèche inclinée ou type multiple mèches (Frick et Somerfeld1973; Soda et al; 1980; Moustafa 1979), Combinaison du distillateur solaire à effet de serre ( Salcuk, 1970, 1971; Sodha et al,1980)[13].

## **2. DESSALEMENT DE L'EAU DE MER EN ALGERIE :**

Les ressources hydriques de l'Algérie restent limitées. Tout d'abord pour des raisons climatiques, la pluviométrie irrégulière oscille entre 100 et 600 mm/an seulement. Le dessalement est ainsi une option majeure. L'accroissement rapide des besoins en eau potable ainsi qu'en eau pour l'irrigation et l'industrie a été fort et reste continu. Une période de sécheresse assez longue a, par ailleurs, amené à une surexploitation des réserves hydriques jusqu'à épuisement d'une grande partie de celles-ci.

**3. LES GRANDES STATIONS :**

| N° | Localisation           | Capacité m <sup>3</sup> /j | Population à servir | Echéancier prévisionnel |
|----|------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------|
| 01 | Kahrama (Arzew)        | 90 000                     | 540 000             | En Exploitation         |
| 02 | Hamma (Alger)          | 200 000                    | L'Algérois          | En Exploitation         |
| 03 | Skikda                 | 100 000                    | 666 660             | En Exploitation         |
| 04 | BeniSaf) A.Temouchent  | 200 000                    | 1 333 320           | En Exploitation         |
| 05 | Mostaganem             | 200 000                    | 1 333 320           | En Exploitation         |
| 06 | Douaouda (Alger Ouest) | 120 000                    | 666 660             | En Exploitation         |
| 07 | Cap Djenet (Alger Est) | 100 000                    | 666 660             | En Exploitation         |
| 08 | Souk Tleta (Tlemcen)   | 200 000                    | 1 333 320           | En Exploitation         |
| 09 | Honaine (Tlemcen)      | 200 000                    | 1 333 320           | En Exploitation         |
| 10 | Mactaa (Oran)          | 500 000                    | 1 333 320           | 1er T 2014              |
| 11 | El Tarf                | 50 000                     | -                   | -                       |
| 12 | Ténès                  | 200 000                    | 999 990             | -                       |
| 13 | Oued Sebt (Tipaza)     | 100 000                    | -                   | -                       |

Tableau II.1-Le plus important de grandes usines de dessalement en Algérie

**4. LES STATIONS MONOBLOCS :**

| Wilaya  | Site         | Commune    | Capacité m <sup>3</sup> /j | Population à servir |
|---------|--------------|------------|----------------------------|---------------------|
| Alger   | Champ de tir | Zéralda    | 5 000                      | 33 330              |
| Alger   | Palm Beach   | Staoueli   | 2 500                      | 16 660              |
| Alger   | La Fontaine  | Ain Benian | 5 000                      | 33 330              |
| Tlemcen | Ghazaouet    | Ghazaouet  | 5 000                      | 33 330              |
| Tipasa  | Bou Ismail   | Bou Ismail | 5 000                      | 33 330              |

|                |               |            |         |        |
|----------------|---------------|------------|---------|--------|
| Skikda         | L.BenMhidi    | L.BenMhidi | 7 000   | 47 000 |
| Tizi –Ouzou    | Tigzirt       | Tigzirt    | 2 500   | 16 660 |
| Oran           | Bou Sfer      | Bou Sfer   | 5 000   | 33 330 |
| Oran           | Les Dunes     | Ain Turk   | 2X2 500 | 33 330 |
| Ain-Temouchent | Bou Zdjer     | Bou Zdjer  | 5 000   | 33 330 |
| Ain-Temouchent | Chatt el Ward | Bou Zdjer  | 5 000   | 33 330 |

Tableau II.2- les stations monoblocs [14]

## 5. CRITERS DE QUALITÉ DE L'EAU

| Critères de qualité de l'eau | Les caractéristiques   |
|------------------------------|--|
| <b>Eau potable</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>*une salinité inférieure ou égale à 0,5 g/L.</li> <li>*une dureté (T.H) entre 1,5 et 3 degré français (°F).</li> <li>*elle ne doit pas contenir plus de 200 mg/L de chlore.</li> <li>*ni plus de 75 mg/L de calcium.</li> <li>*ni plus de 50 mg/L de magnésium.</li> <li>*ni plus de 150 mg/L de sulfates.</li> <li>*PH 6.5-8.5. [15]</li> </ul>  |
| <b>Eaux de surface</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Température : Variable suivant les saisons.</li> <li>* Turbidité : Variable, parfois élevée.</li> <li>*Couleur : Liée aux matières en suspension.</li> <li>* CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S : Généralement absent.</li> <li>* NH<sub>4</sub> : Présent dans les eaux polluées. [15]</li> </ul>   |
| <b>Eaux souterraines</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Température : Relativement constante.</li> <li>* Turbidité : Faible ou nulle.</li> <li>*Couleur : Liée aux matières dissoutes.</li> <li>* CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S : Souvent présent.</li> <li>* NH<sub>4</sub> : Fréquemment présent. [15]</li> </ul>   |
| <b>Eaux de mer</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>*le chlorure de sodium (NaCl) : environ 27 g/L.</li> <li>*chlorure de magnésium (MgCl<sub>2</sub>) environ 3,8 g/L.</li> <li>*sulfate de magnésium( MgSO<sub>4</sub>) environ 1,7 g/L.</li> <li>*sulfate de calcium (CaSO<sub>4</sub>) environ 1,3 g/L).</li> <li>*sulfate de potassium (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) environ 0,8 g/L.</li> <li>*carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) environ 0,1 g/L. [15]</li> </ul> |
| <b>Eaux saumâtres</b>        | <p>Une eau saumâtre est une eau saline non potable, de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart de ces eaux contiennent entre 1 et 10 g de sel par litre. [16]</p>  |

Tableau II.3-Critères de qualité de l'eau et sa caractérisation

## 6. LES PROCÉDES DE DESSALEMENT

### 6.1. L'électrodialyse

L'électrodialyse est un procédé électrochimique qui permet d'extraire les ions d'une solution en les déplaçant. Ce procédé fonctionne avec un appareil nommé électrodialyseur. L'extraction des ions se fait par migration de ces derniers à travers des membranes sélectives (anioniques ou cationiques) sous l'action d'un champ électrique. Ainsi, seuls les anions peuvent traverser une membrane anionique et seuls les cations peuvent traverser une membrane cationique. En plaçant plusieurs membranes en parallèle laissant passer alternativement les ions positifs et les ions négatifs, on peut éliminer certains ions de l'eau. Dans certains compartiments il y a concentration des ions et dans d'autres les ions sont éliminés [17].

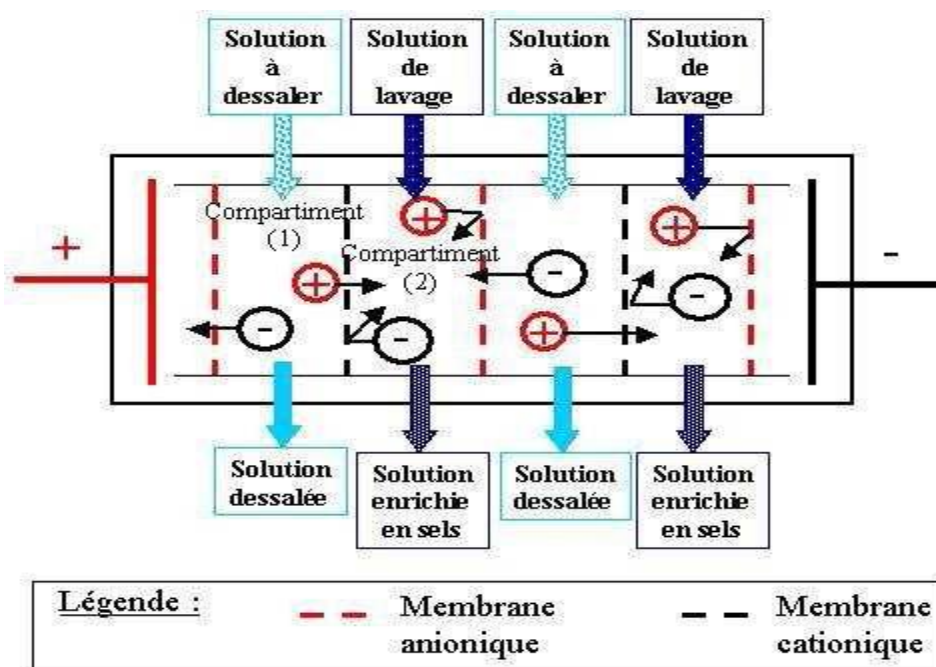


Fig. II.1- principe de L'électrodialyse

### 6.2. L'osmose inverse

L'eau salée et filtrée sous pression à travers une membrane semi-perméable (un matériau qui laisse passer le solvant eau dans notre cas, les sels et les microorganismes sont retenus par ce dernier). Elle consiste à appliquer à cette eau salée une pression importante, qui nécessite une consommation énergétique élevée, pour la faire passer à travers la membrane, seules les molécules d'eau traversent la membrane, Ce procédé nécessite toutefois un traitement de l'eau en amont [18].

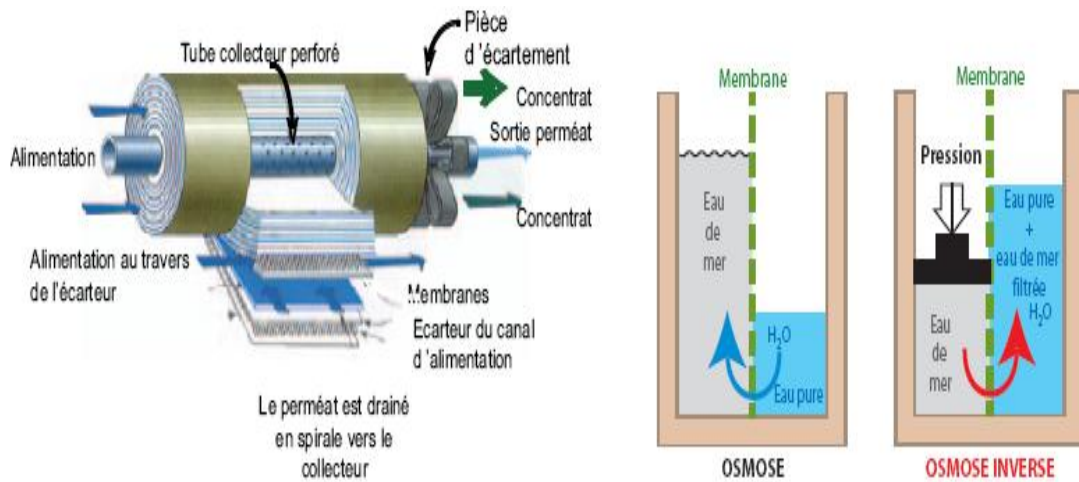


Fig. II.2- principe L'osmose inverse

**6.3. Distillation à détentés étagées (Multi-Etage Flash distillation MSF)**

Le processus de distillation multi-étages (MSF) repose sur le principe de l'évaporation instantanée. Dans le procédé MSF, l'eau de mer est évaporée en réduisant la pression par opposition à l'élévation de la température. Les économies de la technologie MSF sont réalisées grâce au chauffage par régénération où l'eau de mer clignotant dans chaque chambre ou scène de flash abandonne une partie de sa chaleur à l'eau de mer passant par le processus de clignotement. La chaleur de condensation libérée par la vapeur d'eau de condensation à chaque étage augmente progressivement la température de l'eau de mer entrante. L'usine de MSF se compose de sections d'entrée de chaleur, de récupération de chaleur et de rejet de chaleur [19].

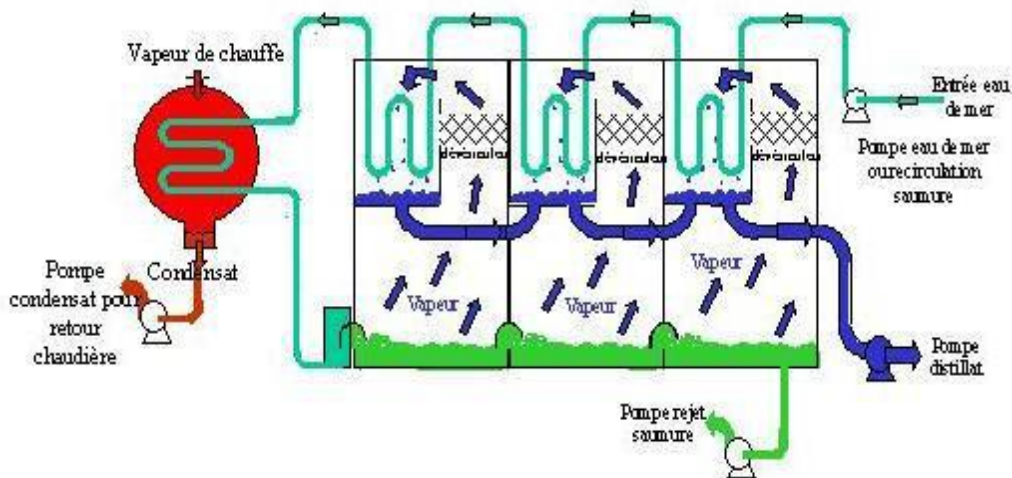


Fig. II.3- Principe de fonctionnement d'un system par détentés Successives (MSF) à 3étages.

#### 6.4. Distillation à multiples effets (Multi-Effet distillation MED)

Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée. La vapeur produite dans le 1<sup>er</sup> effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le 2<sup>ème</sup> effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le 2<sup>ème</sup> effet et ainsi de suite [20].

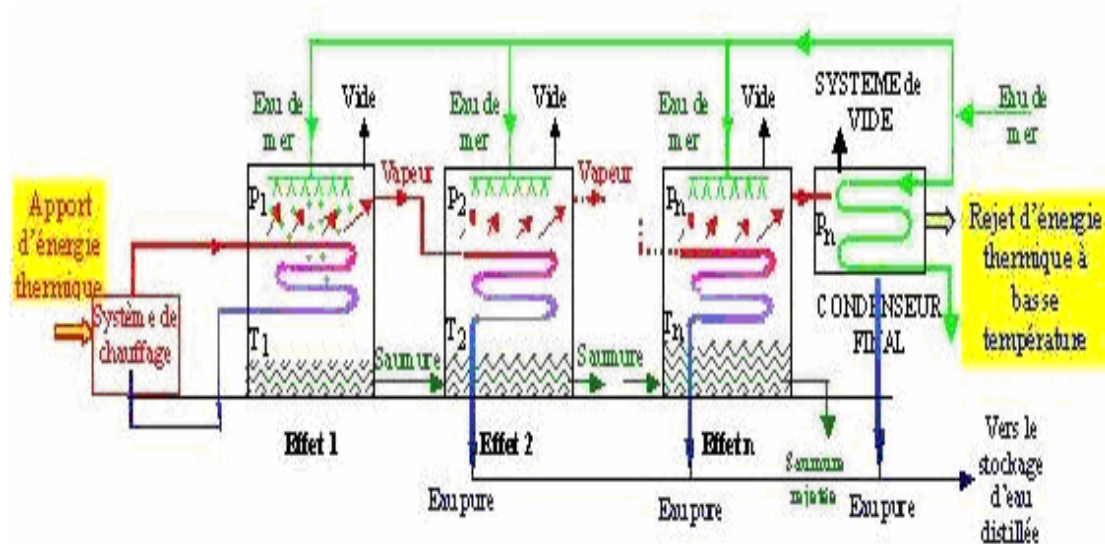


Fig. II.4- Schéma de principe d'un système d'évaporateurs Multiples effets (MED).

#### 6.5. Congélation

Le Principe du procédé de congélation sous vide est assez simple. Lorsque on fait geler de l'eau salée, les cristaux qui se forment consistent en de la glace pratiquement pure, le sel étant chassé de l'eau lors de la cristallisation et forme une saumure à la surface du cristal [13].

### 7. LA DISTILLATION SOLAIRE

#### 7.1. Principe de fonctionnement

Les distillateurs solaires utilisent tous le même principe de fonctionnement néanmoins, ils peuvent différer les uns des autres en conception et en matériau. Le fonctionnement d'un distillateur solaire repose sur l'effet de serre. Le distillateur solaire est un bassin isolé à parois adiabatiques dont le fond noirci contient une quantité d'eau, il est coiffé d'un couvercle transparent, généralement du verre. L'énergie solaire entrant par le couvercle est absorbée par l'eau et le fond noirci, puis elle est transmise à l'air par conduction, convection et par rayonnement. Comme les parois sont hermétiquement closes et lèverez opaque aux radiations infrarouges de grandes longueurs d'ondes, l'énergie solaire se trouve ainsi emprisonnée (effet de serre) et l'air est chauffé. La température du couvercle qui baigne dans l'air atmosphérique étant inférieure à celle du mélange air-vapeur d'eau, il se produit une condensation de la

vapeur d'eau sur la surface du couvercle incliné. L'eau s'écoule suivant un film mince et peut être recueillie [13].

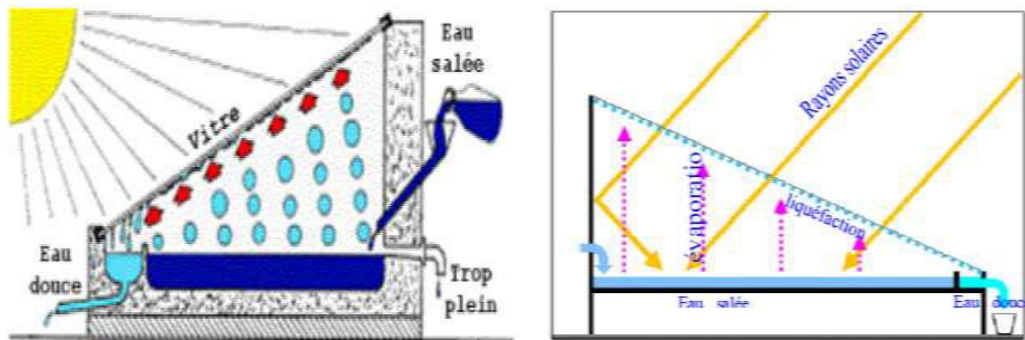


Fig. II.5- Principe de construction et de fonctionnement

D'un distillateur solaire simple

## 7.2. Les différents types de distillateurs

### 7.2.1. Distillateur a pente unique

Le distillateur à pente unique incline d'un angle [9].

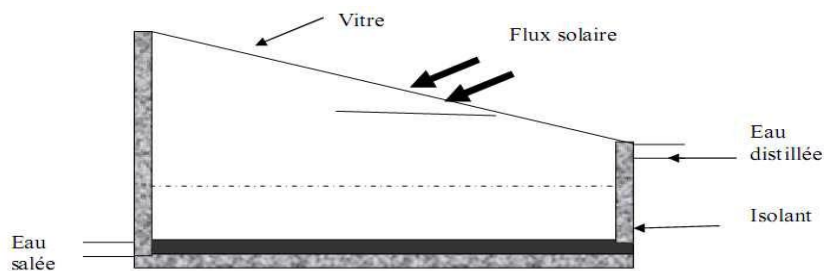


Fig. II.6-Distillateur a pente unique

### 7.2.2. Distillateur solaire à double pente :

C'est un distillateur à double capteurs où chacun d'eux est incliné d'un angle, son avantage est d'exposer un capteur au soleil et un autre à l'ombre pour accélérer la condensation [9].

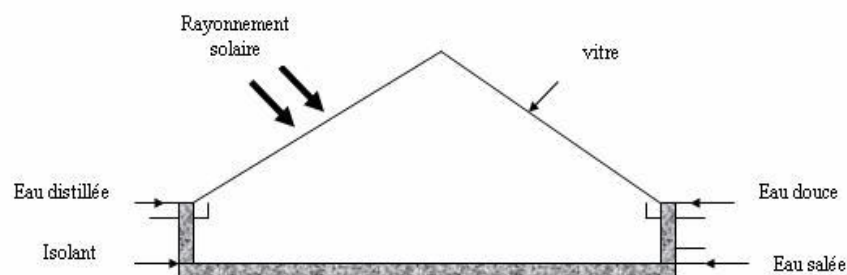


Fig. II.7-Distillateur a doublé pente unique

### 7.2.3. Distillateur solaire terre- eau

C'est un distillateur contenu dans le sol. Il est similaire au distillateur à doubles pentes, sauf que le sol remplace le bassin noir [13].

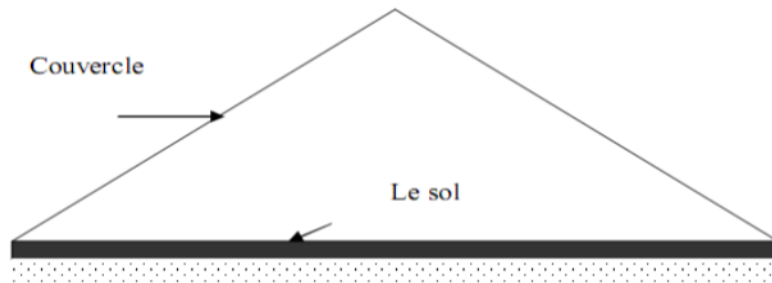


Fig. II.8-Distillateur solaire terre- eau

### 7.2.4. Distillateur solaire sphérique à balayage

C'est un distillateur en plexiglas ou en matériau plastique transparent de forme sphérique reposant sur des supports, il est essentiellement constitué par trois parties, une demi -sphère supérieure qui sert à transmettre le rayonnement solaire d'une part et joue le rôle de surface de condensation d'autre part, une demi-sphère inférieure qui permet de récupérer le distillat, un bac horizontal en métal noirci contenant l'eau à distiller qui se trouve dans le plan médian de la sphère [16].

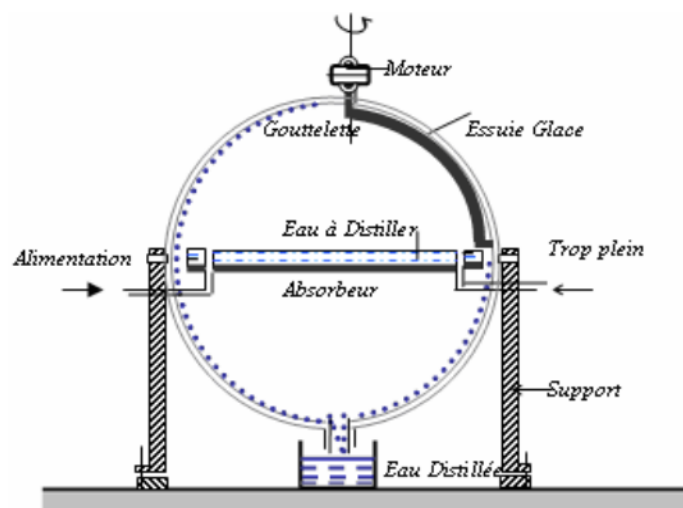


Fig. II.9-Distillateur sphérique à balayage

### 7.2.5. Le distillateur solaire incliné à mèche

Il est constitué d'une plaque absorbante recouverte d'une matière poreuse noire, fermée par une vitre transparente (parallèle à l'absorbeur) et d'un isolant thermique sous l'absorbeur pour minimiser les pertes de chaleur.

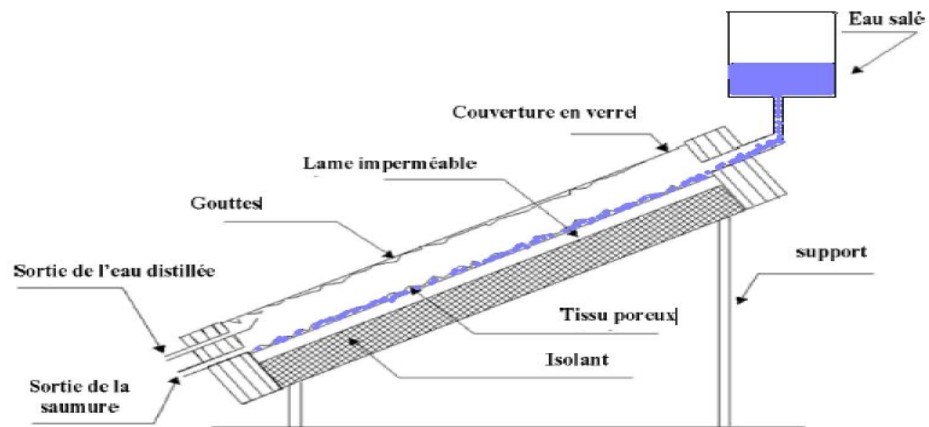


Fig. II.10-Distillateur solaire incliné à mèche

En pratique, la solution salée qui est pompée en haut du distillateur, descend lentement le long de la surface poreuse noire. L'énergie solaire qui est transmise par la vitre et absorbée par la surface noire. Lorsque la solution qui est en mouvement, atteint la température de saturation, l'évaporation commence. Cette vapeur sera condensée et collecter de la même manière que celle du capteur plan. La solution concentrée restante qui arrive en bas du distillateur sera jetée ou utilisée pour d'autres fins [21].

#### 7.2.6. Distillateur solaire à film capillaire :

L'appareil est formé d'une vitre et de deux plaques métalliques disposées face à face et inclinées d'un certain angle. La face avant de la première plaque est peinte en noir. L'eau à distiller, s'écoule lentement à l'aide d'un tissu sur l'autre côté, ce tissu est convenable pour former un film capillaire d'eau. Ceci justifie le nom donné à l'appareil (distillateur à film capillaire). La vapeur d'eau produite quitte le tissu et va se condenser au contact de la seconde plaque. L'eau distillée et le résidu sont récupérés par des collecteurs [22].

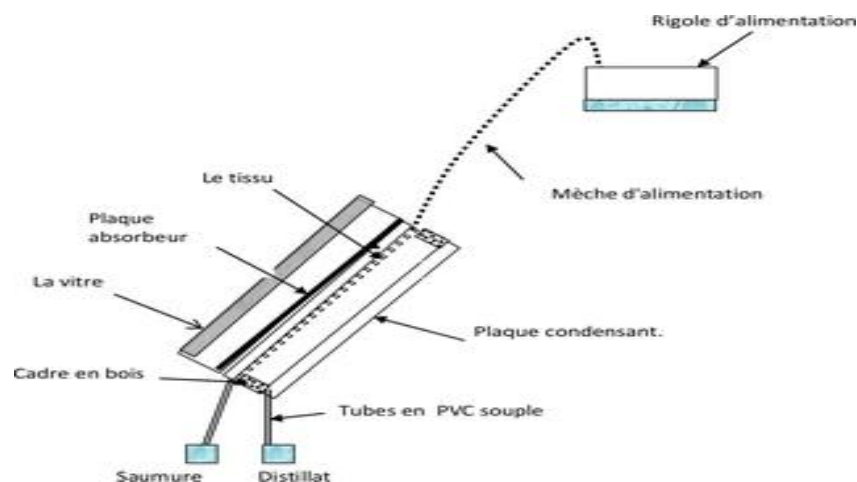


Fig. II.11-Distillateur solaire à film capillaire

### 7.2.7. Distillateur à cascade :

Un distillateur solaire à cascades est constitué d'une capacité étanche surmonté d'une vitre, le même principe appliqué dans un distillateur plan, sauf que l'absorbeur a une forme en cascade. L'eau salée versée dans le distillateur se répartie sur plusieurs petits bassins, on remarque que si la masse d'eau est faible, l'eau s'échauffe plus rapidement s'évapore [23].

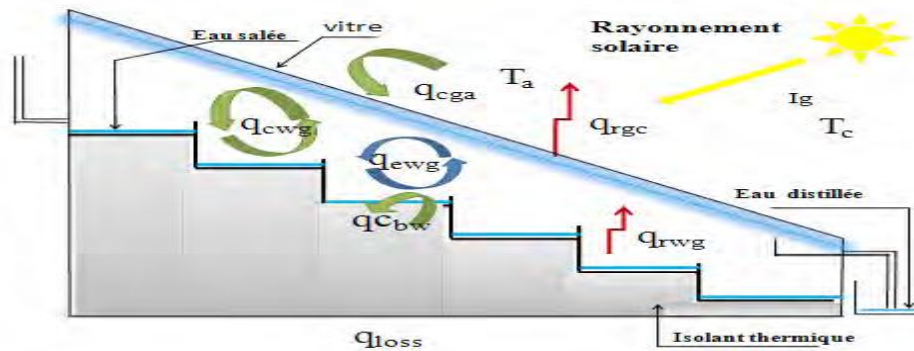


Fig. II.12-Distillateur à cascade

### 7.2.8. Distillateur solaire à cheminée (BERTOLI et al 1976)

Ce distillateur se différencie des autres distillateurs conventionnels par l'adjonction d'une cheminée dans laquelle se trouve un échangeur de chaleur, le conduit plan couvert d'une vitre sert à capter l'énergie solaire. Sous l'effet du rayonnement solaire, l'eau saumâtre qui coule dans le conduit s'évapore et monte dans la cheminée où elle se condense, la chaleur de condensation peut être utilisée pour le préchauffage de l'eau entrant dans le système [24].

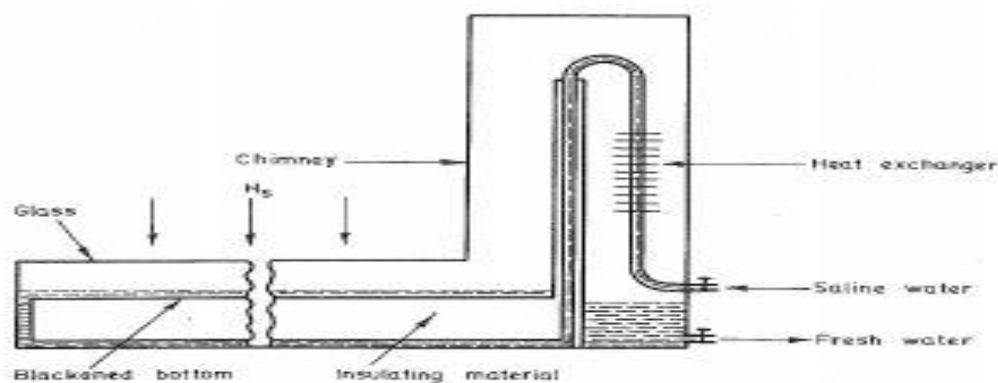


Fig II.13-Distillateur à cheminée

### 7.2.9. Distillateur à mèche évaporant (BARTOLI et al 1976)

Ce distillateur a été construit pour économiser la quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation. L'évaporateur est constitué par la juxtaposition de trois plaques parallèles légèrement espacées. L'eau à distiller passe dans la première enceinte et arrive au capteur où elle s'échauffe puis s'évapore dans une deuxième enceinte, la condensation s'effectue sur la

face inférieure du milieu. Les deux dernières plaques sont munies d'un grillage qui augmente l'échauffement et uniformise l'écoulement de l'eau [10].

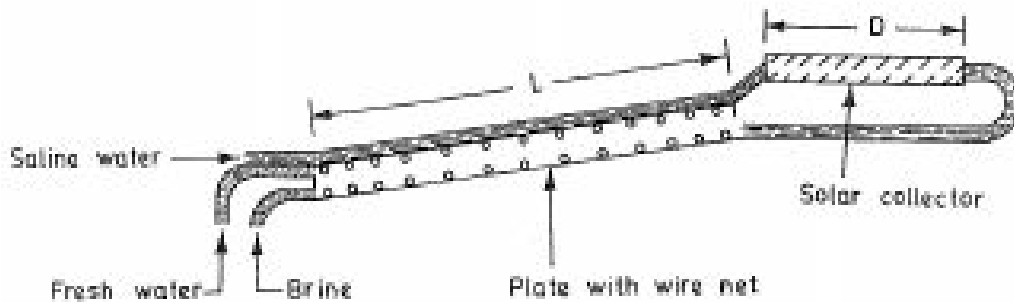


Fig II.14-Distillateur à mèche évaporant

## 8. COMPOSANTS D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE

- **Un recouvrement transparente** verre ou parfois en plastique mis en pente. Le verre est recommandé pour les applications à long terme mais il est généralement coûteux, fragile et lourd. Le plastique (tel que polyéthylène) peut être choisi pour usage de courte durée, à cause de sa faible résistance à la chaleur.
- **Un bassin** recouvert d'une couche noire absorbante. La plaque de l'absorbeur est généralement en métal, le plus couramment le cuivre, l'acier inoxydable ou bien l'aluminium.
- **Pour l'isolation**, on place une ou plusieurs couches d'isolant du type laine de verre, polystyrène, mousse de polyuréthane...etc.

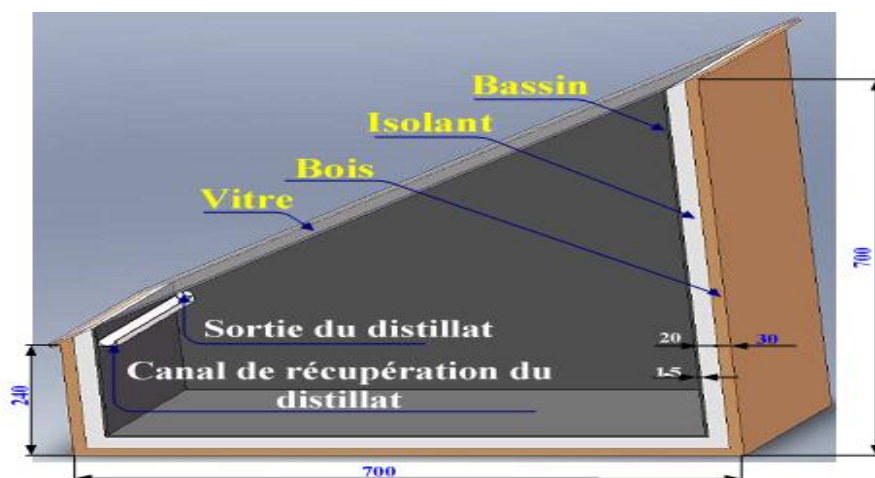


Fig.15- Coupe longitudinale du distillateur

## 8. Paramètres de Fonctionnement du Distillateur solaire à effet de serre

### 8.1. Paramètres externes

Ces paramètres sont liés au site, nous pouvons citer :

**8.1.1. Les paramètres géographiques** tels que la longitude, la latitude et la hauteur du soleil.

**8.1.2. Les paramètres météorologiques** dont les plus fréquemment retenus sont :

- L'intermittence des nuages, le pourcentage du rayonnement diffus, le vent et la température ambiante.
- Nature de l'eau à traiter, choix du pré traitement, taux de conversion et rapport de Performance [10].

### 8.2. Les paramètres internes

#### 8.2.1. Paramètres de position

**L'emplacement du distillateur** Les distillateurs doivent être placés de façon à éviter les obstacles « l'effet de masque » qui empêche le rayonnement solaire d'atteindre la surface de captation.

**L'orientation** : Elle dépend essentiellement du fonctionnement du distillateur pendant la journée, On distingue notamment :

- Le fonctionnement pendant la matinée ..... orientation Est
- Le fonctionnement pendant l'après- midi .....orientation Ouest
- Le fonctionnement durant toute la journée ..... orientation Sud

**L'inclinaison** : Elle dépend du fonctionnement du distillateur pendant l'année :

- Fonctionnement estival ..... $\beta = \varnothing - 10^\circ$
- Fonctionnement hivernal .....  $\beta = \varnothing + 20^\circ$
- Fonctionnement annuel .....  $\beta = \varnothing + 10^\circ$  [16]

#### 8.2.2. La couverture

La couverture sert de surface de condensation, Il faut qu'elle soit non hydrophobe, mouillable [25], et résiste aux attaques du vent et des particules solides [26], et [27] ont montré que la distance entre la couverture et la saumure ne doit pas être grande pour ne pas augmenter la couche tampon qui ne participe pas au transfert thermique à l'intérieur du distillateur solaire. [28] ont constaté que cette couche influe sur la performance.

La couverture est essentiellement caractérisée par :

- Une bonne transparence au rayonnement solaire, et une opacité au rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde.

- Une inclinaison optimale qui dépend de la latitude du lieu d'implantation du distillateur solaire, selon N. Banda [29].

### 8.2.3. L'absorbeur

Il est appelé aussi plan noir ; il est construit généralement en métal peint en noir, et se caractérise principalement par une absorptivité aussi voisine que possible de l'unité, une bonne inertie thermique ainsi qu'une bonne résistance chimique à l'oxydation par les dépôts minéraux de la saumure. Il est recouvert d'une mince couche de peinture noire mate, et il est généralement choisit en aluminium ou en cuivre [12].

### 8.2.4. Paramètres thermo-physiques

Les paramètres thermo-physiques sont :

- La conductivité thermique, la chaleur spécifique et la diffusivité thermique de la couverture et la surface absorbante.

- La conductivité thermique, la chaleur spécifique, la viscosité cinématique, la chaleur latente de vaporisation, le coefficient de dilatation thermique et la diffusivité thermique de la saumure.

- La conductivité thermique, la chaleur spécifique, la viscosité dynamique, la viscosité cinématique et le coefficient de dilatation thermique du mélange air vapeur [23].

### 8.2.5. Paramètres optiques:

Ce sont les paramètres optiques (l'émissivité, l'absorptivité, la réflectivité et la transmittivité) de la surface de la couverture et de la surface absorbante [18].

## 9. LES CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT

### 9.1. Production

La capacité d'une installation de dessalement est définie comme la quantité d'eau produite sur une base horaire, journalière, mensuelle et annuelle.

**9.1.1. Production horaire:** C'est la capacité maximum de l'installation dépendant entièrement de la structure de l'installation. La production horaire peut varier en fonction de la température de l'eau salée et d'autres paramètres.

**9.1.2. Production journalière :** La production journalière maximale est calculée en multipliant la production horaire par le nombre d'heures de fonctionnement maximal de l'installation.

**9.1.3. Production mensuelle :** Somme des productions journalières calculées pour chaque jour. La production journalière peut être différente selon les jours à cause de la température de l'eau de mer, de l'arrêt de l'installation pour maintenance.

**9.1.4. Production annuelle** : La production annuelle est la somme des productions mensuelles et donne la quantité annuelle d'eau dessalée produite. La quantité annuelle est utilisée pour calculer le coût d'investissement de l'eau qui est l'un des composants du tarif de l'eau dessalée.

## 9.2. L'efficacité :

### 9.2.1. L'efficacité globale :

L'efficacité globale est définie par le rapport :

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{G.A} = \frac{m_d \cdot L_v}{G.A} \quad (\text{II.1})$$

$Q_{evap}$ : Flux thermique par évaporation –condensation entre le film d'eau et le vitrage.

$S$  : Surface.

$L_v$  : Chaleur latente [30].

$$L_v = 2,4935 \times 10^6 \times (1 - 9,4779 \times 10^{-4} \times T) + (1,3132 \times 10^{-7} \times T^2) - (4,7974 \times 10^{-9} \times T^3) \quad (\text{II.2})$$

[31].

### 9.2.2. L'efficacité interne :

Si l'efficacité globale se rapporte à la quantité d'eau produite avec l'énergie solaire tombant sur une surface horizontale, elle ne fait pas mention de la quantité d'énergie entrant réellement dans le distillateur, d'autant plus qu'un distillateur est construit en général dans un lieu donné et avec une perte d'absorption de la couverture. Un changement de pente du lieu fait varier la quantité d'énergie qui entre dans le distillateur. On définit donc l'efficacité interne en tenant compte de tous ces paramètres [30].

$$\eta_i = \frac{Q_{evap}}{Q_{eau}} \quad (\text{II.3})$$

Pour une intensité globale  $G$ , l'expression de  $Q_{eau}$  est :

$$Q_{eau} = (\tau_v \alpha_e + \tau_v \tau_e \alpha_b) G.A \quad (\text{II.4})$$

$Q$ : Flux thermique effectivement reçu par la masse d'eau.

$\tau_g$  : la transmittivité du vitrage

$\tau_w$  : la transmittivité de l'eau

$\alpha_w$  : Absorptivité de l'eau

$\alpha_b$ : Absorptivité du bac

### 9.2.3. La performance

Définir le facteur de performance brut (F.P.B) et le facteur de performance horaire (F.P.H) [30] :

$$FPB = \frac{\text{Quantite deau produite au bout de 24 h}}{\text{Quantite denergie entree au bout de 24 h}} \quad (\text{II.5})$$

$$FBH = \frac{\text{Quantite deau produite au bout dune heure}}{\text{Quantiten denergie entree au bout dune heure}} \quad (\text{II.6})$$

## II.10. BILAN THERMIQUE

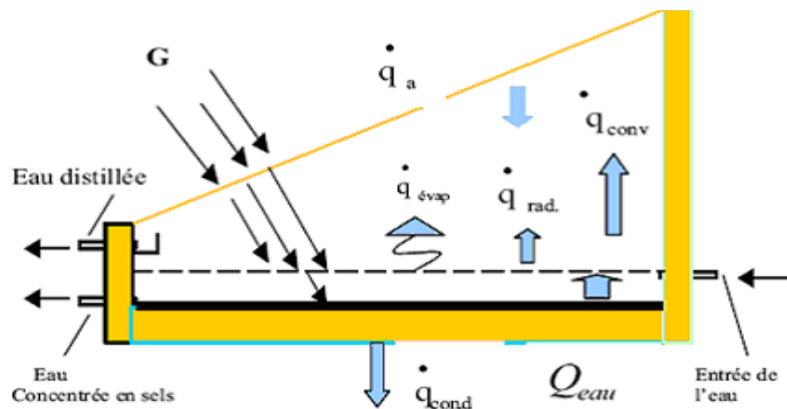


Fig.16- Bilans énergétiques d'un distillateur solaire simple

Comme tous les appareils de distillation à effet de serre, le distillateur conventionnel est un système qui échange de la chaleur avec le milieu ambiant.

- Le transfert de chaleur entre le distillateur et l'extérieur se fait au niveau de la vitre par rayonnement et par convection.
- Au niveau de l'eau, le rayonnement incident transmis sert à chauffer l'eau. Celle-ci s'évapore et échange de la chaleur avec l'eau par convection, rayonnement et évaporation.
- L'échange intérieur-extérieur se fait par conduction à travers la vitre.

### 10.1. Bilan thermique de la vitre

$$M_g C P_g \frac{dT_g}{dt} = (1-\rho_g)\alpha_g G_h + Q_{R.w_g} + Q_{C.w_g} + Q_{Evap} - Q_{R.g.a} - Q_{C.g.a} \quad (\text{II.7})$$

#### Par rayonnement eau-vitre

$$Q_{R.w_g} = h_{R.w_g}(T_w - T_g) \quad (\text{II.8})$$

Avec :

$$h_{R.w_g} = \varepsilon_{\text{eff}} \sigma [(T_w + 273.15)^2 - (T_g + 273.15)^2](T_w + T_g + 546) \quad (\text{II.9})$$

$h_{R,E_V}$ : Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

$\sigma$  : Constante de STEFFAN-BOLTZMAN

$\varepsilon_{eff}$ : Emissivité effective

$$\varepsilon_{eff} = \left[ \frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1 \right]^{-1} \quad (\text{II.10})$$

$\varepsilon_w$ : Emissivité de l'eau.

$\varepsilon_g$ : Emissivité de la vitre.

$$\varepsilon_w = 0.95 \quad , \quad \varepsilon_g = 0.9 [31]$$

### Par convection eau-vitre

$$Q_{C.w.g} = h_{C.w.g} (T_w - T_g) \quad (\text{II.11})$$

$$\text{Avec } h_{C.w.g} = 0.884 \left[ T_w - T_g + \frac{(P_w - P_g) \cdot (T_w + 273)}{268.9 \cdot 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (\text{II.12})$$

$h_{C.w.g}$ : Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le film d'eau et le vitrage.

$P_w$ : Pression de vaporisation à  $T_E$

$P_g$ : Pression de vaporisation à  $T_v$

$$P = \exp \left( 25.317 - \frac{5144}{T + 273} \right) \quad (\text{II.13})$$

### Par évaporation

$$Q_{Evap} = h_{Evap} (T_w - T_g) \quad (\text{II.14})$$

$$\text{Avec : } h_{Evap} = 16.273 \cdot 10^{-3} h_{C.w.g} \left( \frac{P_w - P_g}{T_w - T_g} \right) \quad (\text{II.15})$$

$h_{Evap}$  : Coefficient de transfert de chaleur par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage.

$P_w$  et  $P_g$ : Pressions de saturation de l'air humide aux températures de la saumure et du couvercle.

### Par rayonnement vitre – milieu ambiant

$$Q_{R.g.a} = h_{R.g.a} (T_g - T_a) \quad (\text{II.15})$$

$$\text{Avec : } h_{R.v.a} = \frac{\varepsilon_g \sigma [(T_g + 273)^4 - (T_c + 273)^4]}{T_g - T_a} \quad (\text{II.16})$$

$h_{R.v.a}$ : Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement par la vitre vers l'extérieur.

La température du ciel est donnée par la relation suivante :

$$T_c = T_a - 6 \quad (\text{II.17})$$

**Par convection vitre – milieu ambiant :**

$$Q_{C,g_a} = h_{C,g_a}(T_g - T_a) \quad (\text{II.18})$$

$h_{C,g_a}$ : Coefficient de transfert de chaleur par convection entre la vitre et l'extérieur.

Le coefficient d'échange par convection entre la face externe de la vitre et l'air est donné par la relation suivante :

$$h_{C,g_a} = 2.8 + (3 \times V) \quad (\text{II.19})$$

L'échange par conduction entre l'intérieur et l'extérieur est :

$$Q_{cd} = \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi} - T_{go}) \times A_g \quad (\text{II.20})$$

[9]

## 10.2. Bilan thermique de la masse d'eau

$$M_w C P_w \frac{dT_w}{dt} = (1 - \rho_g)(1 - \alpha_g) \alpha_w G_h + Q_{C.b_w} - Q_{R.w_g} - Q_{C.w_g} - Q_{Evap} \quad (\text{II.21})$$

**Par convection bassin - eau :**

$$Q_{C.b_w} = h_{C.b_w}(T_b - T_w) \quad (\text{II.22})$$

$Q_{C.b_w}$ : Flux thermique par convection entre le fond du bac et le film d'eau.

$h_{C.b_w}$ : Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le fond du bac et le film d'eau.

$$h_{C.b_w} = \frac{Nu \lambda_w}{L} \quad (\text{II.23})$$

Dans ce type de problème, les corrélations expérimentales aboutissent à des relations

De la forme :

$$Nu = c(G_r P_r)^n \quad (\text{II.24})$$

Où  $c$  et  $n$  sont des constantes dépendant de la géométrie du système et de la nature de

L'écoulement (laminaire ou turbulent).

$$\text{Gr : Nombre de GRASHOF} \quad G_r = \frac{L^3 B_E g \rho_w (T_B - T_w)}{\mu_w^2} \quad (\text{II.25})$$

$$\text{Pr : Nombre de PRANDLT} \quad \text{Pr} = \frac{\mu_w C p_w}{\lambda_w} \quad (\text{II.26})$$

Si  $\text{Gr} < 10^5 \Rightarrow \text{Nu} = 1$

$$\text{Si } 10^5 < Gr < 2 \times 10^7 \Rightarrow Nu = \frac{\lambda_w}{L} 0,54 \times (Gr Pr)^{0,25}$$

$$\text{Si } Gr > 2 \times 10^7 \Rightarrow Nu = 0,14 \times (Gr Pr)^{0,33}$$

$B_w$  : Coefficient d'expansion volumétrique de l'eau en ( $k^{-1}$ )

$L$  : Longueur du bac absorbant en (m)

$\rho_w$  : La masse volumique de l'eau en ( $Kg/m^3$ )

$g$  : L'accélération en ( $m^3/s$ )

$\mu$  : La viscosité dynamique en ( $Kg/m.s$ ) [14].

### 10.3. Bilan thermique du bac absorbant

$$M_b CP_b \frac{dT_b}{dt} = (1 - \rho_g) \cdot (1 - \alpha_g) \cdot (1 - \alpha_w) \alpha_b G_h - Q_{C.b.w} - Q_{perte(B)} \quad (II.27)$$

$$Q_{perte(B)} = U_b (T_b - T_{is}) \quad (II.28)$$

Les pertes thermique du bassin par conduction thermique à travers l'isolation est donné

$$\text{comme suit :} \quad U_b = \frac{\lambda_b}{\delta_b} \quad (II.29)$$

$\lambda_b$ : Conductivité thermique du bac

$\delta_b$ : Epaisseur du bac

### 10.4. Bilan thermique de l'isolant

$$M_{is} CP_{is} \frac{dT_{is}}{dt} = Q_{CD,b_{is}} - Q_{perte(is)} \quad (II.30)$$

$$Q_{CD,b_{is}} = Q_{perte(b)} \quad (II.31)$$

$Q_{perte(is)} = U_{is} (T_{is} - T_a)$  La perte thermique de l'isolation vers l'air ambiant est donnée

$$\text{comme suit} \quad U_{is} = \left( \frac{\delta_{is}}{\lambda_{is}} + \frac{1}{h_{is}} \right)^{-1} \quad (II.32)$$

$$h_{is} = 5.7 + (3.8 \times v) \quad (II.33)$$

[32]

CHAPITRE III :  
L'ETUDE  
EXPERIMENTALE  
ET DISCUSSIONS  
DES RESULTATS

## 1. INTRODUCTION

La distillation solaire dans les régions arides et désertiques est l'une des solutions particulières pour résoudre le problème de manque en eau potable. Notre étude a pour but d'améliorer la productivité de distillateur solaire par une modification au niveau de vitrages, où nous avons remplacé les cotes latérales par des vitres. Cette amélioration augmente la réception de l'irradiation solaire et minimise l'effet de l'ombre des surfaces latérales dans le distillateur simple surtout pendant les heures de lever et coucher du soleil, et en même temps c'est un élargissement de la surface de condensation. Ce travail a été effectué au laboratoire de physique énergétique de l'Université de M'sila, Wilaya de M'sila, Algérie.

## 2. PRESENTATION GENERALE DU LIEU D'EXPERIMENTATION (M'SILA)

### 2.1. Situation géographique

La Wilaya de M'sila est une ville située à 230 km au sud-est d'Alger, ses coordonnées géographiques sont :

- Altitude : 477 m
- Latitude : 35°7'058 Nord
- Longitude : 4°54'194 Est

### 2.2. Climat

M'sila possède un climat méditerranéen chaud avec été sec selon la classification météorologique de Köppen-Geiger. Sur l'année, la température moyenne à M'sila est de 20.5°C et les précipitations sont en moyenne de 148.1 mm. A titre de comparaison à Alger, la température moyenne annuelle est de 19.7°C et les précipitations sont en moyenne de 672.3 mm.

Les paramètres climatiques tels que la température ambiante, la vitesse du vent, l'irradiation globale sont les facteurs les plus déterminants pour la production de l'eau distillée. Les valeurs de température ambiante, la vitesse du vent sont disponibles au site internet [33] et l'irradiation globale est disponible au site internet [34].

## 3. Description du distillateur solaire

Le distillateur utilisé lors de nos expériences est d'une conception très simple. Il s'agit de distillateurs solaires à effet de serre à une seule pente avec quatre vitres, il présente l'avantage d'être facile à construire avec des matériaux locaux et moins chers. Ses différents composants sont :

### 3.1. Bac absorbant (plaque noire)

Le rôle du bac absorbant est d'absorber le maximum de rayonnement solaire global et transmettre la chaleur produite par cette absorption vers la saumure, c'est pour cette raison qu'il est peint en noir mat.

### 3.2. Couverture verrière (verre)

Pour sa simplicité et son coût réduit, on a utilisé du verre ordinaire car ce type de distillateur ne nécessite pas des techniques avancées. On a choisi un verre ordinaire pour sa bonne transmission du rayonnement visible. Pour assurer une bonne étanchéité entre la vitre et les autres constituants du distillateur on a utilisé de la silicone.

### 3.3. L'isolation thermique

Généralement, l'isolation thermique du distillateur est en laine de verre ou en polystyrène expansé.

### 3.4. Couverture extérieure

Le coffre du distillateur renferme les différents éléments actifs. Il devra donc assurer une protection efficace aux agents atmosphériques. Le coffre du distillateur est construit en bois.

### 3.5. Cuve de récupération du distillat

Pour la récupération du distillat on a utilisé une bouteille graduée.

La tuyauterie utilisée entre le bac absorbant et la cuve de récupération est en matière plastique.



Fig. III.1- distillateur solaire quatre vitres



Fig. III.2- distillateur solaire simple

Les dimensions du distillateur solaire présentées dans le tableau suivant :

|  |  |
|--|--|
| <p align="center"><b>Côte Est et West</b></p> <p><math>\alpha = 36^{\circ}</math><br/> <math>A=0.55 \text{ m}</math><br/> <math>B = 0.323 \text{ m}</math><br/> <math>S = 0.0718675 \text{ m}^2</math></p> |  |
| <p align="center"><b>Côte Sud</b></p> <p><math>A=0.55 \text{ m}</math><br/> <math>C=0.945 \text{ m}</math><br/> <math>S = 94.5 \times A = 0.51975 \text{ m}^2</math></p>                                   |  |
| <p align="center"><b>Côte Nord</b></p> <p><math>B = 0.323 \text{ m}</math><br/> <math>C=0.945 \text{ m}</math><br/> <math>S = 94.5 \times B = 0.305235 \text{ m}^2</math></p>                              |  |

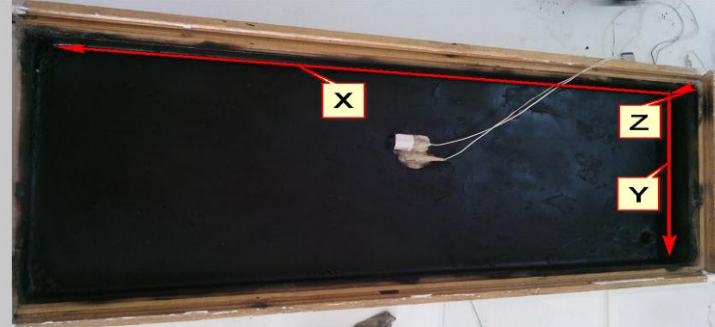

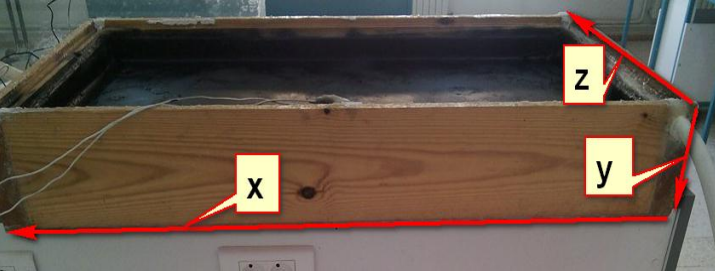
|   |   |
|---|---|
| <p><b>bac absorbant</b></p> <p>x=0.9 m<br/>y=0.40 m<br/>z= 0.04 m<br/>L'épaisseur : 1 mm<br/>la couleur : noir<br/>type de de bac : métal galvanise<br/>la surface : 0.36 m<sup>2</sup></p> |   |
| <p><b>L'isolation thermique</b></p> <p>laine de verre<br/><math>\lambda = 0.03 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}</math><br/>L'épaisseur : 0.08 m</p>  |   |
| <p><b>Couverture extérieure</b></p> <p>x= 0.98 m<br/>y= 0.48 m<br/>z= 0.15 m<br/>Le matériau utilise est du bois</p>  |  |

Tableau III.1- Les dimensions du distillateur solaire

#### 4. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le bassin est rempli d'une lame d'eau saumâtre de 1 cm, le niveau de ce dernier est maintenu par l'ajout d'une quantité d'eau chaque demi-heure égale à la quantité d'eau accumulée dans la bouteille graduée pour compenser l'eau évaporée. L'augmentation de la température due à l'effet de serre fait réchauffer l'air au-dessus de l'eau saline qui s'évapore. Cette capacité d'évaporation grandit au fur et à mesure que la température augmente jusqu'à ce que l'air atteigne sa saturation en vapeur d'eau. La vapeur d'eau que contient l'air chaud est refroidie par l'air ambiant et se condense au vitrage. Il y a une formation de gouttes d'eau qui s'écoulent à la partie inférieure des quatre vitres dans les gouttières qui les conduisent à une bouteille graduée.

#### 5. TESTS EXPERIMENTAUX

Les essais ont été réalisés au niveau du laboratoire de physique énergétique de la faculté des sciences de l'Université de M'sila.

Au cours des différents essais étalées de 10/04/2017 à 13/04/2017, et de 8/05/2017 à 9/05/2017, durant dix heures (de 7h00 à 17 h00), on a mesuré les grandeurs suivantes chaque demi-heure :

- Les températures des différentes parties du distillateur.
- La production (pendant chaque demi-heure).
- La température ambiante.
- L'humidité à la l'intérieur de distillateur solaire.

## 6. DISCUSSIONS DES RESULTATS

### 6.1. Les paramètres météorologiques

Les figures III.3, III.4 et III.5 représentent les variations des paramètres météorologiques les plus influents sur la production de distillateur solaire, l'irradiation solaire globale, la vitesse du vent et la température ambiante en fonction de temps pendant les jours des tests.

#### 6.1.1. L'irradiation

On peut remarquer que les valeurs maximales de l'irradiation solaire sont situées entre 10h00 et 14h00, et elle est supérieure pour le mois de Mai à celle de mois d'Avril d'environ 100  $W/m^2$ . Le lever du soleil à 6h11 pour les journées du mois d'Avril et 5h42 pour les journées du mois de Mai, et le coucher du soleil à 19h12 et 19h33 successivement pour les deux mois, avec une différence d'environ 1 heure pour la durée du jour.

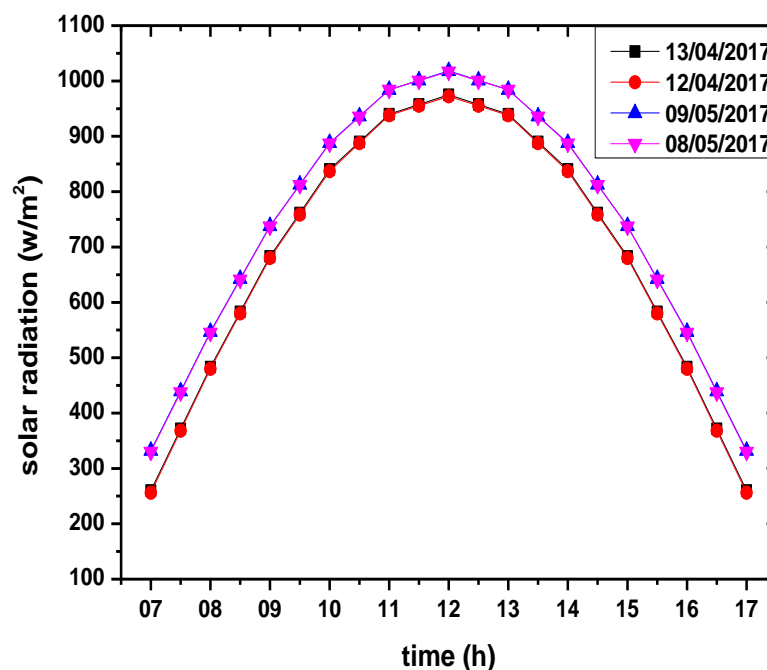


Fig.III.3-Variation temporelle de l'irradiation solaire.

### 6.1.2. La vitesse du vent

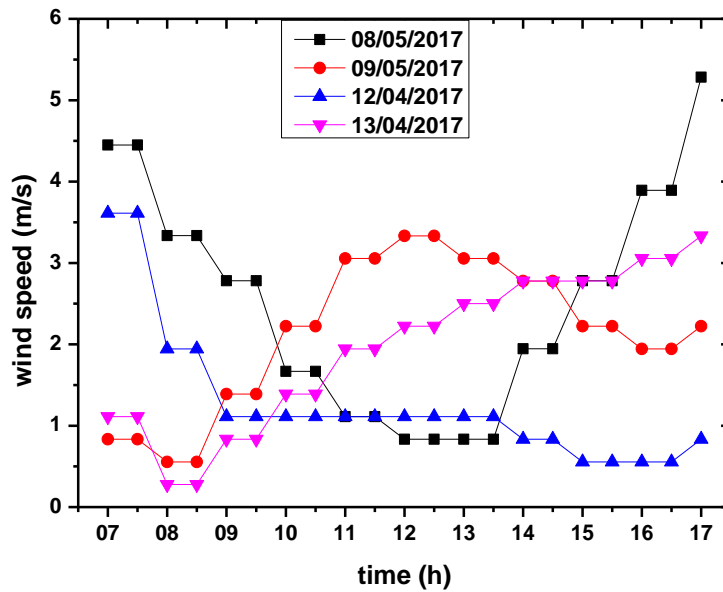


Fig.III.4-Variation temporelle de la vitesse du vent.

En outre, la figure III.4 montre que la vitesse du vent est instable, et varie de façon rapide et aléatoire. Elle présente des grandes valeurs surtout pour le mois de Mai qui atteint environ 5 m/s.

### 6.1.3. La température ambiante

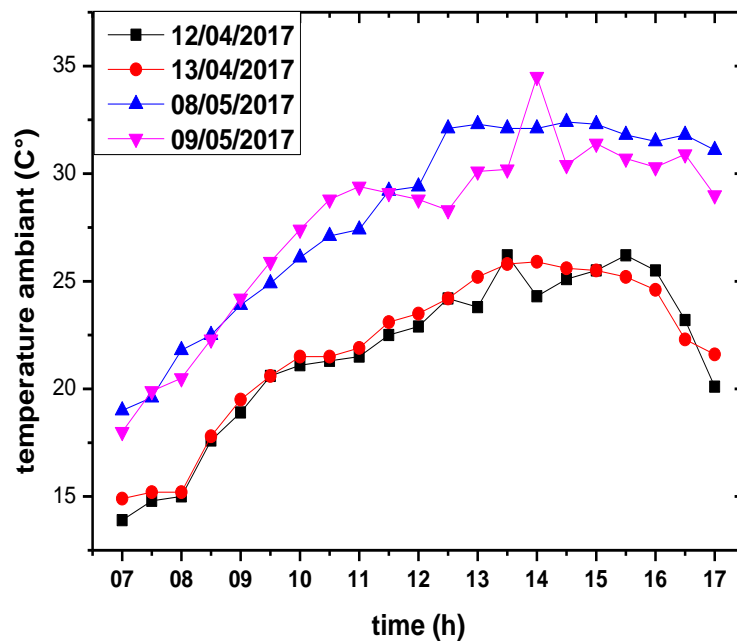


Fig.III.5-Variation temporelle de la température ambiante.

Concernant la température ambiante (Fig. III.5), il y a une élévation uniforme et continue entre le matin et l'après-midi. L'écart entre les deux mois atteint environ 6°C.

**6.2. Les températures des différentes parties de distillateur solaire**

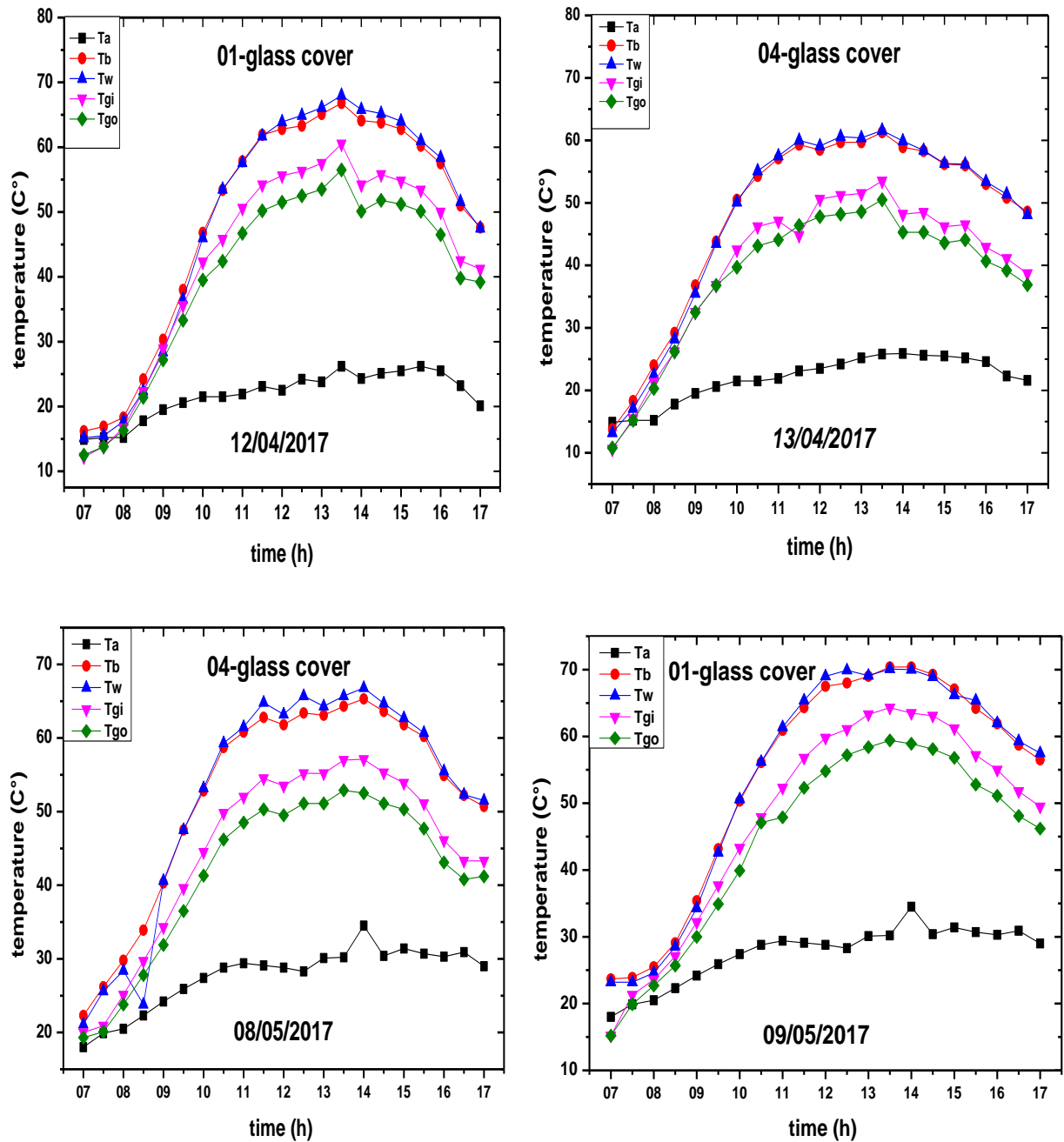


Fig.III.6- Variations temporelles des températures des différentes Parties de distillateur solaire.

D'après les (Fig. III.6), on observe pour tous les cas que les températures, augmentent au fur et à mesure que le rayonnement solaire augmente (ont la même tendance). Les températures de bac et de l'eau sont les plus élevées pour les mois d'Avril et Mai. Où la température du bac  $T_b$  atteint une valeur maximale de  $66.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour le mois d'avril, et  $70.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour le mois de Mai, ceci s'explique par le coefficient d'absorption assez élevé de la peinture noire. La température l'eau  $T_w$  est très proche de celle du bac, cette dernière est chauffée surtout par convection et d'un degré moindre par conduction.

En dessous de laquelle nous avons la température de la surface intérieure de la vitre. L'élévation de cette dernière est due à l'absorption du rayonnement solaire incident et de la chaleur cédée par la surface d'évaporation (la saumure) par rayonnement, évaporation et convection naturelle.

### 6.3. La production

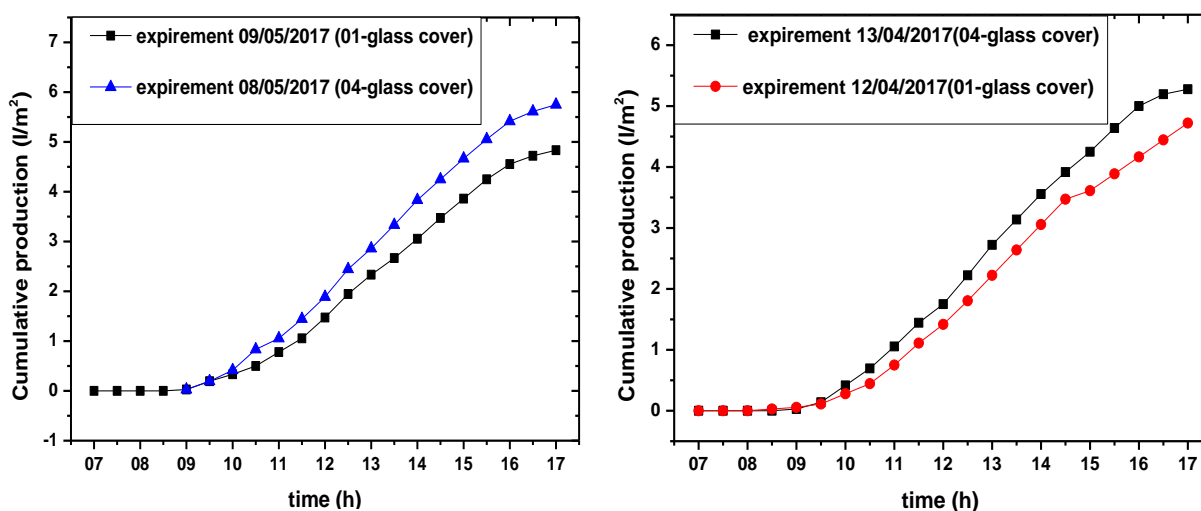


Fig.III.7-Variation temporelle de la production Journalière et horaire.

La production journalière de l'eau distillée des deux types de distillateurs pour le mois d'Avril est représentée dans (Fig.III.7). De 7 heures jusqu'à 17 heures, on observe que le distillateur à quatre vitres a la même allure de distillateur à une seule vitre, et il a été commencé à travailler avant le distillateur simple, cela est dû à l'absence de l'effet de l'ombre par le côté Est de distillateur sur le bac et la masse d'eau. Puis la production de distillateur à quatre vitres augmente de façon plus rapide par rapport au distillateur simple car l'eau s'évapore rapidement, ceci est dû l'effet de l'irradiation solaire qui transmette à l'intérieur de distillateur par tous les côtés et l'élargissement de la surface de condensation.

L'observation de la figure (Fig.III.7) illustre dans un premier temps que l'écart de la production journalière entre les deux distillateurs pour le mois de Mai est supérieur par rapport à celle de mois d'Avril. Cela est dû à l'écart de l'irradiation solaire, et la durée d'ensoleillement.

Nous constatons que le distillateur à quatre vitres possède la plus grande production pour les deux mois, sa productivité est  $5,27 \text{ l/m}^2/\text{jour}$  pour le mois d'Avril, et  $5,75 \text{ l/m}^2/\text{jour}$  pour le mois de Mai. Tandis que la production de distillateur simple est  $4,72 \text{ l/m}^2/\text{jour}$  pour le mois d'Avril, et  $4,83 \text{ l/m}^2/\text{jour}$  pour le mois de Mai, avec une augmentation de 10% et 17 % successivement par rapport au distillateur simple.

Les courbes de la production horaire illustrent que 81 % (4305ml) de la quantité d'eau distillée était produite entre 11h.00 et 16h.00 pour le distillateur à quatre vitres, par contre elle est 78% (3722 ml) pour le distillateur à une seule vitre.

## 6. L'étude économique de système

Les installations de distillation d'eau pour une utilisation grand public et, plus important encore, pour les entreprises et les industries impliquées dans les produits pharmaceutiques, la fabrication et la transformation alimentaires, de fabrication de produits chimiques et les services de nettoyage industriel. Dans des laboratoires chimiques, tel type de l'eau est pertinente comme un récipient de solvant pour la préparation de solutions. Cette eau purifiée est également utilisé dans le rinçage des appareils de laboratoire, car ils nettoyer efficacement sans laisser échelles. Dans les universités et les laboratoires de recherche scientifique. À la maison, l'eau distillée est le meilleur pour la cuisson, les aquariums, et le lavage.

Quand nous parlons de l'eau pure, nous entendons l'eau qui n'a pas de minéraux, les bactéries, et toute contamination. Le processus de traitement est rigoureux et son coût est élevé. Ce coût élevé est ensuite transféré au prix de l'eau de distillat, vous étonnez donc pas plus si l'eau distillée peut être gênante prix. [35]. Pour cela nous avons fait cette analyse économique pour évaluer la rentabilité de notre système de distillation.

Le prix global de système et les prix des différentes parties sont détaillés dans le tableau suivant :

| <b>Materiel</b>                     | <b>Prix</b>     |
|-------------------------------------|-----------------|
| Vitre                               | 850 DA          |
| Revetment noir                      | 400 DA          |
| Colle silicone                      | 180 DA          |
| Boite en bois                       | 2000DA          |
| Isolation                           | 500DA           |
| Gouttière, tuyau en PVC             | 360DA           |
| Plaque galvanisée avec vanne        | 1000DA          |
| <b>Prix total</b>                   | <b>5290 DA</b>  |
| <b>Prix total par m<sup>2</sup></b> | <b>14694 DA</b> |

Tableau III.2- Prix de différentes parties du distillateur.

L'étude économique de notre distillateur solaire est basée sur les travaux de [36] Qui a fait une analyse économique détaillée des différents systèmes de distillation solaire en incluant les paramètres qui influent sur le coût de l'eau distillée produite. Les paramètres calculés sont compris dans le tableau suivant :

| <b>Parameters</b>                              | <b>Formule</b>                             | <b>La valeur<br/>01-Vitre</b> | <b>La valeur<br/>04-Vitres</b> |
|--|--|-------------------------------|--------------------------------|
| <b>CRF</b> (capital recovery factor)           | $CRF = \frac{r*(1+r)^n}{(1+r)^n-1}$        | <b>0,17</b>                   | <b>0,17</b>                    |
| <b>SFF</b> (sinking fund factor)               | $SFF = \frac{r}{(1+r)^n-1}$                | <b>0,056</b>                  | <b>0,056</b>                   |
| <b>P</b> (initial investment cost of a system) |  | <b>14694 DA</b>               | <b>14694 DA</b>                |
| <b>FAC</b> (fixed annual cost)                 | $FAC = CRF * P$                            | <b>2600,60<br/>DA/année</b>   | <b>2600,60<br/>DA/année</b>    |
| <b>S</b> (salvage value)                       | $S = 0,2 * P$                              | <b>2938,8 DA</b>              | <b>2938,8 DA</b>               |
| <b>M</b> (average annual productivity)         | M= La quantité d'eau produite par jour*365 | <b>1460<br/>l/année</b>       | <b>1825 l/année</b>            |
| <b>AC</b> (annual cost)                        | $AC = FAC + AMC - ASV$                     | <b>2693,20<br/>DA/année</b>   | <b>2693,20<br/>DA/année</b>    |

|  |              |                  |                 |
|--|--------------|------------------|-----------------|
| <b>CPL</b> (cost of distilled water per liter) | $CPL = AC/M$ | <b>1,84 DA/l</b> | <b>1,4 DA/l</b> |
| <b>Payback</b>                                 |              | <b>73 jour</b>   | <b>58 jour</b>  |

Tableau 2 : Analyse économique de distillateur solaire.

Où, **n** : est la durée de vie utile du distillateur (10 ans) ; et **r** : est le taux d'intérêt annuel (12%).

Les analyses économiques montrés que le coût de l'eau distillée produit par le distillateur a quatre vitres est 1.4 DA/litre, et le coût de l'eau distillée produit par le distillateur simple est 1.84 DA/litre, où il est à 50DA au marché. Le retour de cet investissement est 58 et 73 jours par rapport au coût de leur fabrication respectivement. Les résultats obtenus montrent que ce système de distillation est rentable.

# CONCLUSION

La production d'eau douce par voie solaire est importante à deux points de vue, la nécessité d'économiser de l'énergie et le souci de procurer de nouvelles ressources en eau.

Ce travail présente l'étude expérimentale des principaux paramètres influençant sur les caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire à quatre vitres, et les comparés avec le distillateur simple pendant les mois d'avril et Mai.

Après avoir introduit des notions sur l'irradiation solaire et le gisement solaire, ainsi qu'un bref historique sur la distillation solaire et les différents procédés de dessalement particulièrement le procédé de la distillation solaire. Ceci nous a amené à entreprendre une étude des phénomènes physiques qui conditionnent le fonctionnement du distillateur solaire (rayonnement, conduction et convection).

Les résultats obtenus ont montré que :

Il apparaît en particulier qu'une augmentation de l'irradiation solaire globale qui reste le paramètre le plus influant, conduit à un accroissement de ces caractéristiques.

Suite aux différentes expériences menées sur notre distillateur solaire à effet de serre, nous avons constaté que pour améliorer le rendement, nous avons examiné l'effet des vitres sur la production journalière. Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence du rayonnement solaire incident et l'utilisation des vitres sur les productions horaires et journalières.

La production journalière des deux types précédents est 5,27 litre, 4,72 litre successivement avec une augmentation de 10% par rapport au distillateur simple pour le mois d'Avril, et 5,75 litre, 4,83 litre et 6,25 litre successivement pour le mois de Mai avec une augmentation de 17% par rapport au distillateur passif.

Nous avons aussi fait une analyse économique des deux cas, qui montre la bonne faisabilité de système proposé où la période de récupération est 58 jours pour le distillateur à quatre vitres, 73 jours pour le distillateur simple.

# REFERENCE

- [1] Bouragbi Lakhdar, Étude et amélioration du rendement de la conversion photo thermique du capteur solaire, thèse de magister université badjimokhtar-annaba, (2008).
- [2] Saadi Souad, effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan, thèse de magistère université mentouri de Constantine, (2010).
- [3] Hadj belkacemi Mohammed, Modélisation et étude expérimentation d'un capteur solaire non vitré et perforé, thèse de master université Abou bekr belkaid de Tlemcen, (2011).
- [4] bouhediba  
Malika, Simulation thermique d'une maison solaire pour la production d'eau chaude sanitaire, thèse de master université hassiba benbouali de chlef, (2012).
- [5] Aghilas Brahim, Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau, thèse de masters 2 Université de Lorraine, 2016.
- [6] Nia Mohamed, Etude comparative des méthodes d'estimation du rayonnement solaire, thèse de magister université Ferhat Abbas – Sétif, (2010).
- [7] Rahmani Djelloul, analyse d'un system de concentration solaire pour la production d'hydrogène (cas de l'Algérie), thèse de magister université hassiba benbouali de chlef, (2012).
- [8] Slimane Boughali, étude et optimisation du séchage solaire des produits agroalimentaires dans les zones arides et désertiques, thèse doctorat en sciences en génie mécanique université hadj Lakhdar Batna, (2010).
- [9] Boudjebir Hind, étude de l'impact de l'écart de température (ambiance-eau) sur le rendement d'un distillateur solaire à effet de serre, thèse de magistère en génie climatique Université mentouri Constantine, (2010).
- [10] Sotehi Oualid, étude des caractéristiques de fonctionnement et de la performance d'un distillateur solaire, thèse de magister en physique université mentouri Constantine, (2009).
- [11] A. Mefti, M. bouroubi, H. Mimouni. Evaluation du potentiel énergétique solaire, Bulletin des Energies Renouvelables, N°2, p 12, décembre. (2002).
- [12] Nafila Smakdji, Optimisation et modélisation d'un distillateur solaire à ailettes avec stockage de chaleur, thèse doctorat en sciences en génie climatique Université mentouri Constantine 1, (2014).
- [13] Mandi Benaissa, analyse-thermo-énergétique d'un procédé de dessalement d'eau de mer par voie solaire, thèse de magister en physique- école doctorale Université Tlemcen aboubekr belkaid, (2013).
- [14] <http://www.ade.dz/index.php/projets/dessalement>

## REFERENCE

---

- [15] Djamel Bechki, étude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes, thèse de doctorat en sciences en génie mécanique, Université hadj Lakhdar Batna, (2011).
- [16] Boutriaa Abdelouahab, effet des paramètres de fonctionnement sur les performances d'un distillateur solaire, thèse de magister en physique Université mentouri de Constantine, (2009).
- [17] Trad Abderachid, étude et modélisation de deux distillateurs solaires symétrique et asymétrique à effet de serre, thèse de doctorat en sciences université de Constantine1, (2014).
- [18] Halloufi Ouahid, étude de la performance d'un distillateur solaire par un système de préchauffage solaire de l'eau saumâtre, thèse de magister en génie climatique Université mentouri Constantine, (2010).
- [19] Khawaji, A, Kutubkhanah.IK. Wie.J. advances in sea waters desalination technologies, desalination 221. 2008
- [20] Salima karroute, étude théorique et numérique des systèmes couples : distillateur plan-captur et distillateur hot box-captur, thèse de magister en physique Université mentouri de Constantine, (2009).
- [21] Boutebila Hichem, étude et conception d'un distillateur solaire à usage agricole, thèse de doctorat d'état en physique énergétique Université mentouri Constantine, (2012)
- [22] Moussa Zerrouki, Yacine Marif, Moustapha Belhadj et Noureddine Settou, Simulation et expérimentation d'un distillateur solaire à film capillaire dans le sud Algérien, Vol. 4, N° 1, Juin 2012
- [23] Tabet Ismail, étude d'un distillateur solaire à cascade. Thèse de magister Université mentouri Constantine, (2010).
- [24] Malik, M.A.S ; TIWIRI, G ; KUMAR, S et SLDHA, MS. Solar distillation. Oxford, pergamon press (1982).
- [25] N.Ouazene, A. Benzoui, Influence de la mouillabilité du vitrage sur les propriétés thermo optiques d'un distillateur solaire, Enersol 2001, Adrar (Algérie).
- [26] S.D. Gomkale, S.Y. Ahmed, R.L. Data, Fresh water from sea by solar still, Paper presented at. the Animal Meeting, Indian Institute of Chemical Engineers, India, December 1964.
- [27] B. Baume, Heat and mass transfer process in solar still of hotbox type, Krzhizhanovskiy Power Institute, Moscow, Russia, 1963.
- [28] S.Satcunanathan and H.P Hansen, An Investigation of some of the parameters Involved in solar distillation, Solar energy, 14(1973) 353-363.

## REFERENCE

---

- [29] N. Banda, Modélisation informatique des distillateurs solaires à effet de serre, thèse de 3<sup>i</sup>ème cycle, Perpignan 1978.
- [30] A. Deliou, N. Bessas, Z. Belgroun, H. Aburideh, A. Lounis et A. Chikouche, Etude expérimentale des caractéristiques d'un distillateur solaire à effet de serre, Revue des Energies Renouvelables CICME 08 Sousse (2008) 109 – 118.
- [31] Abdelouahab Boutriaa, Ahmed Rahmani. Thermal modeling of a basin type solar still enhanced by a natural circulation loop. Computers and Chemical Engineering (2017).
- [32] C. Elango, N.Gunasekaran, K.Sampathkumar, Thermal models of solar still—A comprehensive review.47, 856–911. (2015)
- [33] [www.tameteo.com](http://www.tameteo.com)
- [34] <http://data.cder.dz:81/#>
- [35] <http://www.jouvea.org/differentes-applications-a04498682.htm>
- [36] A.E. Kabeel, A.M. Hamed, S.A. El-Agouz, Cost analysis of different solar still configuration, Energy 35, 2901-2908, 2010.

## Résumé :

La distillation solaire est une procédé efficace et pratique pour la production d'eau potable dans les zones arides et semi-arides, mais cette production reste limitée. Le but de ce travail est d'augmenter la production par un distillateur à une seule pente avec quatre vitres. La production de système proposé est  $5,27 \text{ l/m}^2/\text{jour}$  pour le mois d'Avril et  $5,75 \text{ l/m}^2/\text{jour}$  pour le mois de Mai avec une augmentation de 10.% et 17 % successivement par rapport au distillateur conventionnel. Une analyse économique montre que la période de récupération de notre système est 58 jours.

## Abstract :

Solar distillation is an effective and practical process for the production of drinking water in arid and semi-arid zones, but this production is limited. The purpose of this work is to increase the production by a single slope solar still with four glass covers. The productivity of the proposed system is  $5,27 \text{ l / m}^2 / \text{day}$  for the month of April and  $5,75 \text{ l / m}^2 / \text{day}$  for the month of May with an increase of 10.% and 17 % sequentially compared to conventional still. An economic analysis shows that the payback period of this system is 58 days.

## ملخص

يعتبر التقطير الشمسي عملية فعالة لتوفير مياه الشرب في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، ولكن مردودها محدود. والغرض من هذا العمل هو زياد المردود باستعمال مقطر شمسي ذو ميل واحد بأربع جوانب من الزجاج. تبلغ إنتاجية النموذج المقترح  $5.27 \text{ لتر/م}^2/\text{يوم}$  و  $5.75 \text{ لتر/م}^2/\text{يوم}$  بالنسبة لشهري افريل وماي على الترتيب مع زيادة قدرها 10 % و 17 % على التوالي مقارنة بالجهاز التقليدي. ويبين التحليل الاقتصادي أن فترة الاسترداد لهذا النظام هي 58 يوما.